

Begleittexte

zur

Astronomie- Ausstellung



am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

2014

Dem Universum auf der Spur

Auf einer knapp einen Kilometer langen Strecke des reizvollen Uferweges entlang des Inns informieren acht Schaukästen zum Thema Astronomie.

Vorwiegend großformatige Teleskop- und Satellitenaufnahmen der weltführenden Astronomie-Institute ESO, ESA und NASA geben im regelmäßigen Wechsel faszinierende Einblicke in neue Forschungsergebnisse unseres Universums. Allgemein verständliche Texte informieren über das Werden und Vergehen der Gestirne und Galaxien, deren Dimensionen und Bewegungsabläufe.

Am Ende der etwa einstündigen Wanderung staunt man als Betrachter nachdenklich über die nahezu unfassbaren Dimensionen des Universums im Vergleich zu unseren menschlichen Maßstäben und man stellt sich die Frage nach dem Sinn unseres Seins.

Der Naturwissenschaftliche Panoramaweg beginnt auf Höhe des Parkhauses Überfuhrstraße bzw. des Busbahnhofes und führt bis vor die Brücke der Umgehungsstraße. Von hier sind es nur noch 200 Meter bis zur Waldkapelle.

Die Ausstellung entstand durch ehrenamtliches Engagement von Bürgern in Zusammenarbeit mit dem Fremdenverkehrsverein und der Stadt Wasserburg sowie zahlreicher Sponsoren.

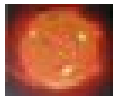
Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

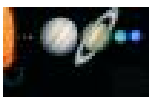
1. Übersicht 2003



2. **Der blaue Planet**



3. **Die Sonne**



4. **Das Planetensystem**



5. **Pferdekopfnebel (NGC 2024)**



6. **Die Milchstraße**



7. **Spiralgalaxie NGC 1232**



8. **Galaxienhaufen Abell 370**

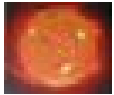
Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

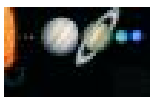
1. Übersicht 2004



2. **Der Mond**



3. Die Sonne (*seit 2003*)



4. Das Planetensystem (*seit 2003*)



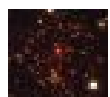
5. **Der Mars**



6. **Der Orionnebel M42**



7. **Echo einer stellaren Lichteruptio**



8. Galaxienhaufen Abell 370 (*seit 2003*)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2005



2. **Der tiefste Blick ins Universum**



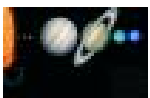
3. **Die Whirlpoolgalaxie**



4. **Ein Supernova-Überrest**



5. Der Mars (*seit 2004*)



6. Das Planetensystem (*seit 2003*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Der Mond (*seit 2004*)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2007



2. Der tiefste Blick ins Universum (*seit 2005*)



3. **Eine Galaxienverschmelzung**



4. **Der Crab-Nebel**



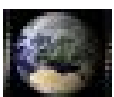
5. **Der Saturn**



6. **Das Planetensystem** (aktualisiert)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. **Die Erde** (neu)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

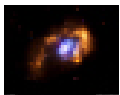
1. Übersicht 2009



2. **Galaxien-Kollisionen**



3. **Die unsichtbare Milchstraße**



4. **Eta Carinae**



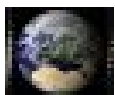
5. **Der Jupiter**



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Die Erde (*seit 2007*)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2012



2. **Omega Centauri**



3. **Wolf-Rayet Nebel**



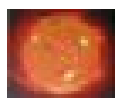
4. **Der Helix Nebel**



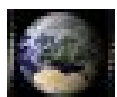
5. **Der Asteroid Lutetia**



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Die Erde (*seit 2007*)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2014



2. **Centaurus A**



3. Wolf-Rayet Nebel (*seit 2012*)



4. **Exoplaneten**



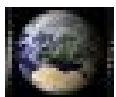
5. Der Asteroid Lutetia (*seit 2012*)



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Die Erde (*seit 2007*)

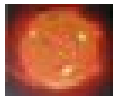
Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

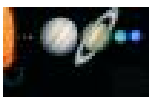
1. Übersicht 2003



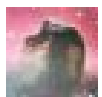
2. **Der blaue Planet**



3. **Die Sonne**



4. **Das Planetensystem**



5. **Pferdekopfnebel (NGC 2024)**



6. **Die Milchstraße**



7. **Spiralgalaxie NGC 1232**



8. **Galaxienhaufen Abell 370**

Der blaue Planet

Das typische Aussehen unserer Erde ist vom **Wasser** geprägt: **Meere** bedecken 71% der Oberfläche und **Wolken** sind maßgeblich am **Wettergeschehen** beteiligt, das sich in der durchschnittlich 12 km dicken, untersten Schicht der Atmosphäre (der sog. Troposphäre) abspielt.

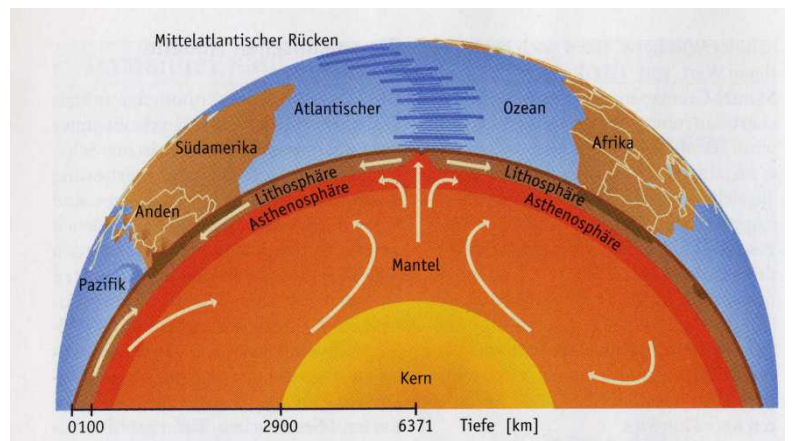
Die **Atmosphäre** ist im Vergleich zum **Erddurchmesser** (12 756 km) dünn und **enthält** nicht nur den lebensnotwendigen **Sauerstoff** (21%; 78% sind Stickstoff.), sondern **schützt** auch **vor** gefährlicher UV- und Röntgen-**Strahlung**, sowie **Meteoriteneinschlag** und **bewahrt** durch den natürlichen Treibhauseffekt den Planeten **vor** zu starker **Auskühlung** durch Abstrahlung ins Weltall.

Die **Sonnenenergie** prägt die **Erdoberfläche** über die **Erwärmung** und über **Winde** und **Wasserströmungen**, die von Temperaturunterschieden verursacht werden. Das günstige **Klima** ermöglicht das **Leben**: Pflanzen betreiben mit Sonnenlicht **Photosynthese** und geben die gebun-

dene Energie in der **Nahrungskette** an andere Lebewesen weiter. (Auch **Kohle**, **Erdöl** und **Erdgas** sind deshalb seit Jahrtausenden gespeicherte Sonnenenergie!) Nicht von der Sonne stammen lediglich die **Kernenergie**, die von der Anziehungskraft des Mondes erzeugte **Gezeitenenergie** und die **Erdwärme**, die zum Großteil noch von der **Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren** stammt und vom natürlichen Kernzerfall aufrecht erhalten wird.

Die **hohe Temperatur** beeinflusst den **Aufbau des**

Erdinneren : Der **Eisen-Nickel-Kern** ist flüssig. Der darauf schwimmende **Mantel** ist in Bewegung. (Diese **tektonische Aktivität** äußert sich in



Plattenverschiebungen, Erdbeben und Vulkanismus.) Die äußere feste **Kruste** bietet die Grundlage unseres **Lebensraums**.

Aufruf an die Menschheit:

Dieser Lebensraum ist einzigartig und für uns der einzige, den es unbedingt zu erhalten gilt!

Die Sonne

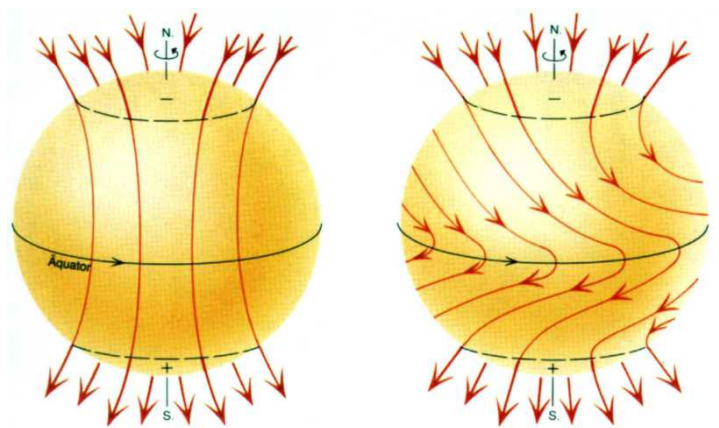
Die **Sonne** ist ca. **150 Mio. km** von der Erde entfernt. Ihr **Durchmesser** ist mit **1,39 Mio. km** **109 Mal so groß** wie der der **Erde**, damit hat die Sonne ein **1,3-millionenfaches Volumen**. Da ihre **Masse** aber „nur“ das **330-tausendfache** der Erdmasse beträgt, ist ihre mittlere **Dichte** **1,4 g/cm³** kleiner als die der Erde (**5,5 g/cm³**).

Für eine **Gaskugel** ohne festen Gesteinskern ist diese Dichte gewaltig; sie ist höher als die von Wasser! Die Sonne besteht vor allem aus **Wasserstoff** und **Helium** (dem Edelgas, das erst über das Sonnenlicht entdeckt worden ist und deshalb nach ihr benannt worden ist: gr. *helios* = Sonne). Die äußeren Schichten bestehen aus fast unveränderter **Urmaterie**: **73,5%** Wasserstoff und **24,8%** Helium.

Die Gravitationskraft der immensen Sonnenmasse erzeugt im **Zentrum** einen gewaltigen **Druck** (220 Milliarden bar) und eine riesige **Temperatur** (15 Millionen Grad); die **Dichte** beträgt hier **134 g/cm³**! Unter diesen Bedingungen kann die **Kernfusion** einsetzen, dabei **verschmelzen** die **Atomkerne** des Wasserstoffs zu Helium und es wird eine enorme **Energie** frei. Da die Sonne erst ungefähr die Hälfte ihres Vorrats an Wasserstoff verbraucht hat, kann sie uns **noch weitere 5 Milliarden Jahre** unverändert als Energiequelle dienen.

Der **Energietransport** weg vom Zentrum erfolgt zuerst durch **γ -Strahlung**, in der äußeren Schicht (ab ca. 30 % vom Rand) herrscht dann **Konvektion** vor, d.h. heiße Materie strömt nach oben. Die **Granulation** der **brodelnden Oberfläche** kann man auf dem Foto (Aufnahme mit speziellem Lichtfilter) gut erkennen. Die Oberfläche ist noch ca. **5 700 °C** heiß und **strahlt** hauptsächlich **sichtbares Licht ab**, deshalb wird sie **Photosphäre** genannt.

Die Sonne hat auch ein starkes **Magnetfeld**, das sich mit der ionisierten Sonnenmaterie (Plasma) mitbewegt. Da die Sonne **differentiell rotiert**, d.h. in 25 Tagen am Äquator



und in über 30 Tagen bei den Polen, wickelt sich das Magnetfeld auf und erzeugt in einem **11-jährigen Aktivitätszyklus** komplizierte Strukturen. Diese sind u.a. für **Sonnenflecken** verantwortlich. Das Magnetfeld stört dabei den konvektiven Materietransport, so dass die Oberfläche „nur“ noch 4 000 °C heiß ist und vergleichsweise dunkel erscheint. Auch **Materieauswürfe** sind eine Folge des verwickelten Magnetfelds. Links unten im Bild kann man eine solche **Protuberanz** erkennen.

zum Nachdenken:

Welche Energiequellen, die wir auf der Erde nutzen, stammen letztendlich von der Sonne?

Bildquelle: ESA (European Space Agency)

Das Planetensystem

Die **Sonne** besitzt **99,87%** der **Masse** des ganzen **Planetensystems**. Aufgrund ihrer Anziehungskraft wird sie von den **9 Planeten**, sowie vielen **Asteroiden** (Kleinplaneten) und **Kometen** umrundet.

Ordnet man die **Planeten** nach der Entfernung von der Sonne (und damit auch nach Umlaufzeit), ergibt sich die Reihenfolge **Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto**. (Merkspruch: „Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unsere neun Planeten.“)

Während **Merkur** seinen Umlauf in 0,4-facher Erdentfernung (150 Mio. km = eine „astronomische Einheit“: 1 AE) in 88 Tagen absolviert, braucht **Pluto** mit durchschnittlich 40 AE Entfernung 248 Jahre.

Die **Entstehung des Planetensystems** mit der Sonne erfolgte vor ca. **4,6 Mrd. Jahren** aus einer **Gas- und Staubwolke**. Unter sehr **speziellen Bedingungen** blieb um die sich bildende Sonne eine **rotierende Staubscheibe** erhalten, aus deren **Verdichtungen** die **Planeten** entstanden.

Die **inneren Planeten** Merkur, Venus, Erde und Mars sind im wesentlichen **Gesteinsbrocken**, die **in Größe und Aufbau der Erde ähnlich** sind. Sie konnten **kaum Monde** an sich binden: Außer der Erde mit dem relativ großen Erdmond hat nur noch der Mars zwei winzige Satelliten.

Ganz anders sind da die **äußeren Planeten** Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, die **viel größer** sind: Der **größte Planet Jupiter** hat den 11-fachen Durchmesser und die 318-fache Masse der Erde. Sie bestehen v.a. aus den **Gasen** Wasserstoff und Helium, die sich im Zentrum wegen des hohen Drucks verflüssigen. Aufgrund der starken **Gravitationskraft** findet sich jeweils eine ganze **Schar von Monden**, sowie die v.a. von Saturn bekannten **Ringe** aus feinem Staub, Eis und Gesteinsbrocken.

Der erst 1930 entdeckte **Pluto** ist ein wahrer **Außenseiter**: Er ist mit 2 300 km Durchmesser der **kleinste Planet**, seine **Bahn** ist am **stärksten elliptisch** und gegen die der anderen Planeten **um 17° geneigt**, und sein einziger Mond **Charon** ist halb so groß wie Pluto selbst!

Die meisten **Bilder** und **Daten**, die wir von den Planeten und deren Monden haben, stammen von den **Sonden Pionier 10 + 11**, und v.a. **Voyager 1 + 2**, die in den 70er Jahren zu Jupiter und Saturn geschickt worden waren, wobei Voyager 2 noch Uranus und Neptun erforscht hat. Der Planet Pluto wurde bislang noch von keiner Raumsonde untersucht.

zum Nachdenken:

Wie viele Planeten gibt es um die 200 Mrd. Sterne allein in unserer Galaxis, und auf wie vielen könnte Leben möglich sein?

Bildquelle: Zeitschrift Sterne und Weltraum (SuW)

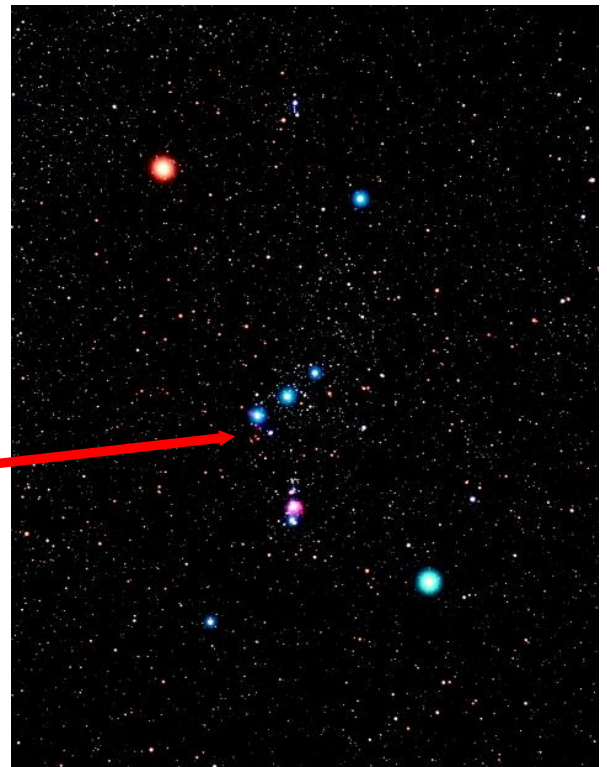
Pferdekopfnebel

(NGC 2024)

Die zufällige Form gibt dieser **Dunkelwolke** aus **interstellarem Staub** ihren Namen. Sie gehört zu den immensen Gasmassen im **Sternbild Orion** und ist etwa **1 000 Lichtjahre** von uns **entfernt**. Ihr **Durchmesser** beträgt ca. **3 Lichtjahre**.

Sternbild Orion

Position des
Pferdekopfnebels



Im Hintergrund befindet sich ein **diffuser Emissionsnebel**. Das ist eine **interstellare Staubwolke** (d.h. sie

befindet sich zwischen den Sternen) aus kleinsten Materieteilchen (bis zu 0,1 Mikrometer) bei äußerst geringer Dichte (etwa 500 Körner je Kubikkilometer!), die **von eingebetteten Sternen beleuchtet** wird.

Der unbeleuchtete **Pferdekopfnebel** davor **schirmt das Licht** des Emissionsnebels und der dahinterliegenden Sterne **ab** und wir erkennen die **dunklen Konturen**. Deshalb sind im Pferdekopf selbst auch wesentlich **weniger Sterne** zu sehen als in seiner Umgebung – nur die vor ihm stehenden.

Der Pferdekopf ist nur eine **Ausbuchtung** einer viel **größeren Dunkelwolke** in der Bildfortsetzung nach unten. Deren **Staubteilchen** bestehen im Kern aus Metallsilikaten, an den sich Gasmoleküle angelagert haben. So kondensieren Gasmoleküle wie bei Nebeltröpfchen in der Erdatmosphäre zu festen Körnchen.

Zum Nachdenken:

Ab wann könnten wir Erdbeobachter es bemerken, wenn jetzt plötzlich der Pferdekopfstaub Licht (eines Beleuchtungsterns) abstrahlen würde?

Bildquelle: ESO (European Southern Observatory)

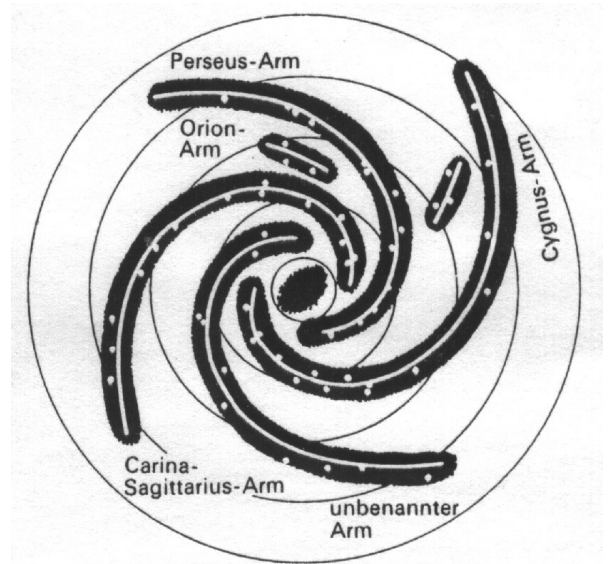
Aufnahme: VLT (Very Large Telescope)

Die Milchstraße

Die **Milchstraße** ist eine der unzähligen Galaxien im Weltall. Gute **100 Milliarden Sterne** wie unsere Sonne, teils mit Planeten, und **interstellare Materie** (Gaswolken, Kometen) gehören zu ihr.

Sie ist eine **Spiralgalaxie** (vgl. nächster Schaukasten), hat also die Form einer **flachen Scheibe**, in der sich **Spiralarme** besonders abheben.

Der Scheibendurchmesser beträgt ca. **100 000 Lichtjahre (Lj)**. Unsere **Sonne** befindet sich etwa **26 000 Lj vom Zentrum entfernt** im sogenannten Orion-Arm.



Da **wir** uns **im Innern** der Milchstraßenscheibe **befinden**, scheint sie uns ringsherum wie ein **breites Band** zu umgeben. Das kann man im unteren **Panoramabild** (360°-Rundum-Blick) erkennen.

In Blickrichtung **aus der galaktischen Ebene heraus** sehen wir hingegen eine deutlich **kleinere Sterndichte**. Dafür finden sich dort **viele Kugelsternhaufen** (Anballungen von mehreren zehntausend Sternen), die zum

Halo, einer kugelförmigen Umgebung der Milchstraße, gehören.

Entlang des Milchstraßenbands finden wir **Dunkelwolken**, die das **Licht** dahinterliegender Regionen **verschlucken**. (Ohne sie wäre das ganze Band wegen der dicht liegenden Sterne strukturlos hell!) Darum können wir hier auch nur bis in eine **begrenzte Entfernung schauen**, nicht einmal bis zum Zentrum der Milchstraße. (Man kann jedoch Messungen mit anderen Strahlungsarten machen.)

Dort im **Zentrum** befindet sich ein **Schwarzes Loch**, eine enorm **dichte Anballung** mit einer **Masse** von **mehreren Millionen Sonnen!** Seine **Gravitationskraft** ist so **groß**, dass nichts, auch kein Licht, das „Loch“ verlassen kann. Man kann es also **nicht direkt beobachten**, sondern nur die Auswirkungen seiner Anziehung messen.

Das **obere Bild** zeigt vergrößert den Bereich in Richtung des galaktischen Zentrums im Sternbild **Schütze**, rechts daneben das Sternbild **Skorpion** mit dem roten Riesenstern Antares und den Sternhaufen M4 und M6. Man bemerke die deutlich **höhere Dichte** der **leuchtenden Objekte**.

Zum Verweilen:

Finden Sie bekannte Sternbilder?

Bildquelle: ESO (European Southern Observatory)

Spiralgalaxie NGC 1232

Seit der Himmel mit Teleskopen vermessen und kartografiert wird, kennt man **verschwommene Lichtflecken, die man als **Nebel**** bezeichnet hat. Der Philosoph Immanuel Kant stellte bereits 1755 die These auf, dass sie **Sternsysteme** sein könnten, die er "Weltinseln" nannte. Im 19. Jahrhundert entdeckte man mit verbesserten Fernrohren, dass viele der Nebel eine **Spiralstruktur** besitzen.

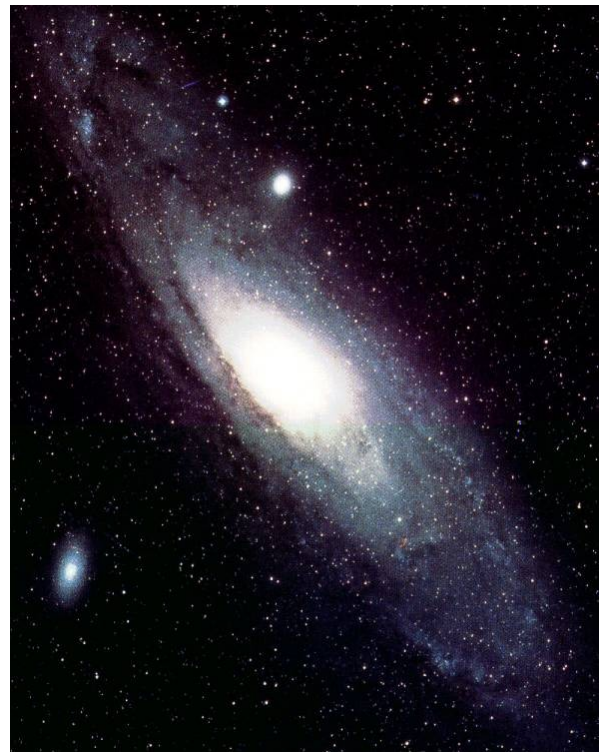
Erst **1923** gelang es dem Astronomen Edwin **Hubble** mit einem 2,5 m Teleskop, **einzelne Sterne** im Andromedanebel (vgl. Bild unten) – und später auch in anderen Galaxien – **aufzulösen**. Besonders wichtig waren dabei sog. **Delta-Cephei-Sterne**: Wie beim Stern δ im Sternbild Cepheus kann auf ihre **absolute Leuchtkraft** geschlossen werden. Aus dem Vergleich mit der gemessenen **scheinbaren Helligkeit** kann man die **Entfernung berechnen**. So ergibt sich für den **Andromeda-Nebel** ein Abstand von **2,2 Millionen Lichtjahren**, er gehört damit nicht mehr zu unserem Milchstraßen-System (dessen Durchmesser ca. 100 000 Lichtjahre beträgt) und ist also gar **kein Nebel**, sondern eine **Galaxie**.

Jede **Galaxie** ist also eine **eigenständige Struktur**, in der sich durchschnittlich **mehrere 100 Milliarden Sterne** ansammeln. Die meisten haben **elliptische** oder **spiralförmige Gestalt**. **Spiralgalaxien** sind flache Scheiben (mit typischen Dimensionen wie unsere Milchstraße), deren

Kernbereich aus älteren, **rötlichen** Sternen besteht und deren **Spiralarmen** interstellare Gaswolken und daraus neu entstehende Sterne enthalten, die eher **blau** strahlen.

Unser Foto zeigt die Galaxie mit der Nummer **1232** im "**New General Catalogue**", die sich im südlichen Sternbild **Eridanus** in knapp **100 Millionen Lichtjahren Entfernung** befindet. Sie ist ein wunderschönes Beispiel, auf das man ziemlich **senkrecht** schaut, deshalb ist die Spiralstruktur so deutlich.

Im Gegensatz dazu sehen wir die **Andromeda-Galaxie** eher von der Seite, darum erscheint sie **verzerrt**.



Zum Vergegenwärtigen:

Im Fernrohr sehen Gas- und Staubnebel (wie z.B. der im vorletzten Schaukasten gezeigte Pferdekopfnebel) zunächst genauso aus wie Galaxien. Wie unterscheiden sie sich bzgl. Entfernung, Größe und Zusammensetzung?

**Bildquelle: ESO, Aufnahme mit dem VLT
(8,2m-Spiegelteleskop, Chile)**

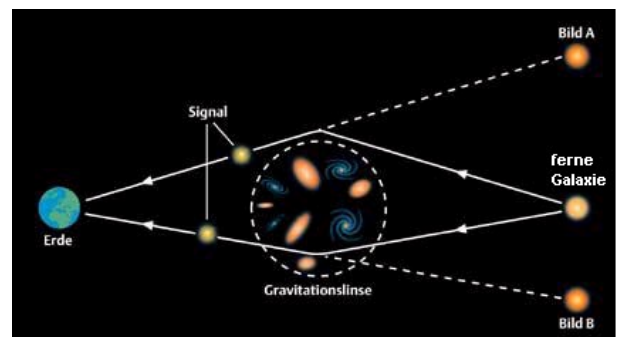
Galaxienhaufen Abell 370

Materie ordnet sich in immer größer werdenden **Strukturen**: So bilden Galaxien **Galaxienhaufen**, diese wieder **Galaxiensuperhaufen**, ...?

Dieser Galaxienhaufen **Abell 370** ist ca. **5 Milliarden Lichtjahre entfernt** und befindet sich im Sternbild Walfisch. Die Bildmitte enthält eine **große Zahl** von **Galaxien** - die meisten vom elliptischen Typ, also ohne Spiralstruktur. Die beiden überbelichteten Objekte nahe dem rechten und linken Rand sind **Vordergrundsterne** in unserer Milchstraße.

Das Bedeutendste dieses Bildes ist der **Lichtbogen** unten. Die **beiden hellsten Galaxien** über dem Bogen sind die **massereichsten** des Haufens und verursachen den Großteil des „**Gravitationslinseneffekts**“. Das **Licht** des Bogens kommt nämlich von sehr weit dahinter liegenden Galaxien, deren Licht durch **Anziehungskraft** abgelenkt und in unsere Richtung (wie durch eine Linse) gebündelt wird.

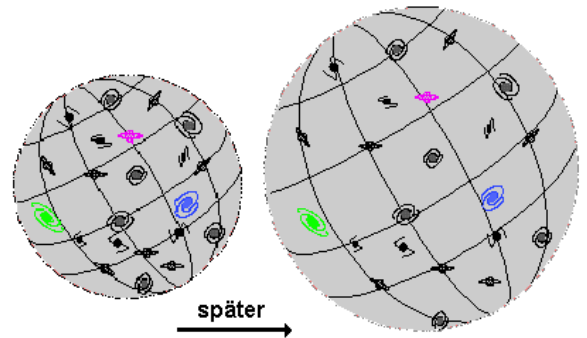
Aus der exakten Gestalt des Gravitationsbogens kann man die Masse des Haufens ermitteln.



Entfernungsbestimmung:

Zerlegt man das Licht der Abell-Galaxien in seine **Spektralfarben**, stellt man **Rotverschiebung** fest, d.h. das Licht kommt mit **längerer Wellenlänge** an, als es abgestrahlt wurde. Die Ursache ist die **Fluchtbewegung** der Galaxien.

Wegen der **Expansion des ganzen Weltalls** fliehen alle fernen Galaxien vor uns! Je **größer** die **Entfernung**, desto **größer** ist auch die **Fluchtgeschwindigkeit**.



Damit erhalten wir nun die **Entfernung von Abell 370**: Aus der gemessenen dreifachen Lichtwellenlänge folgert man eine Fluchtgeschwindigkeit von etwa 120 Mio. km/s (37% der Lichtgeschwindigkeit!). Das führt zu der Entfernung von ca. 5 Mrd. Lj.

Das Licht im Gravitationsbogen kommt ebenso feststellbar aus etwa doppelter Entfernung. Damit blicken wir hier 10 Mrd. Lichtjahre weit **in den Raum** oder 10 Mrd. Jahre **in der Zeit** zurück - und damit in die Frühzeit des Universums (Alter: ca. 14,5 Mrd. Jahre)!

offene Frage:

Setzt sich die Expansion beliebig fort oder stürzt das Universum wieder einmal zusammen?

Bildquelle: ESO, Aufnahme mit dem VLT

(8,2m-Spiegelteleskop, Chile)

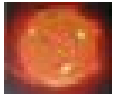
Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

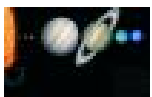
1. Übersicht 2004



2. **Der Mond**



3. Die Sonne (*seit 2003*)



4. Das Planetensystem (*seit 2003*)



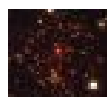
5. **Der Mars**



6. **Der Orionnebel M42**



7. **Echo einer stellaren Lichteruptio**

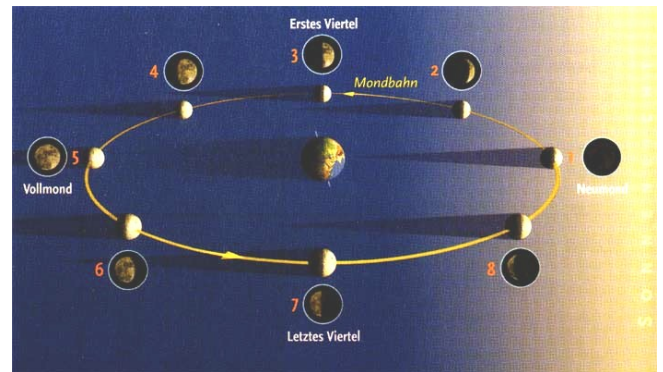


8. Galaxienhaufen Abell 370 (*seit 2003*)

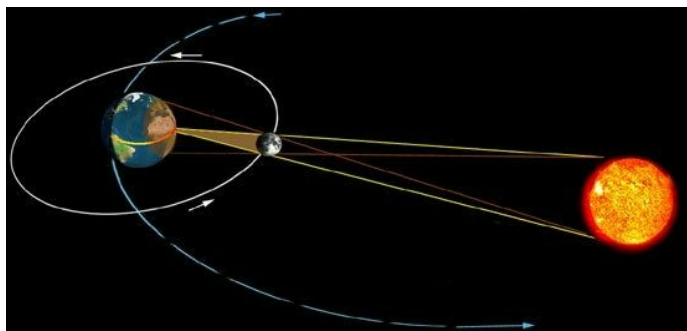
Der Mond

Der Mond ist ein **Felskörper** mit **3476 km Durchmesser**, das entspricht über einem **Viertel der Erde**, die aber die **81-fache Masse hat**. Durch die gegenseitige Gravitationsanziehung ist er an **die Erde** gebunden und **umkreist** sie in knapp einem **Monat** in **384.000 km Entfernung**. (Die gleiche Kraft wirkt jedoch ebenso auf die Erde, was sich z.B. in den Gezeiten äußert.)

Der Mond **erscheint** uns darum **am Himmel** in verschiedenen **Phasen**: Er reflektiert das **Licht der Sonne**, und wir sehen während eines Umlaufs – entsprechend der Stellung zur Erde – stets verschiedene



Teile beleuchtet. (Der fahle, rötliche Schimmer, den wir bei Neumond oder bei einer Mondfinsternis trotzdem wahrnehmen, stammt vom Licht, das von der Erde ausgeht.) Eine **Mondfinsternis** entsteht, wenn der Vollmond genau den Schatten der Erde durchquert. Wesentlich spektakulärer ist allerdings eine



Sonnenfinsternis, bei der der Mondschatten auf die Erde fällt, also dort die Sonne verdeckt wird, die,

obwohl 400 mal so groß gleich groß erscheint, weil sie wesentlich weiter entfernt ist (150 Millionen km).

Auffällig ist, dass der Mond uns **stets das gleiche "Gesicht"** zeigt. (Die **erdabgewandte Seite** wurde zum ersten Mal im Oktober **1959** von der sowjetischen Raumsonde **Luna 3** fotografiert.) Der Grund ist, dass sich durch Reibungsprozesse die **Rotationsdauer mit der Umlaufzeit synchronisiert** hat, so dass der Mond für eine Umdrehung genau so lange braucht, wie für einen Umlauf um die Erde, nämlich **27,3 Tage**. Das "Gesicht" ist geprägt von dunkleren Regionen, die Galileo Galilei fälschlicherweise **mare** (Meer) nannte. In Wirklichkeit handelt es sich um **Krater** von gewaltigen **Asteroideneinschlägen**, die sich **mit Lava gefüllt** hatten. Seit 4 Milliarden Jahren ist die Mondoberfläche allerdings fast **unverändert**. Die zahlreichen großen und kleinen **Krater** von Meteoriteneinschlägen sind seit dieser Zeit **erhalten** geblieben, weil es auf dem Mond **kaum Wasser** und **keine Atmosphäre mit Wettergeschehen** und damit auch **keine Erosion** gibt.



Mondrückseite 1959

Die **Geologie des Mondes** konnte erst durch die bei den **Mondlandungen** gemachten **Gesteinsproben** verstanden werden. Damit wurde auch die **Theorie der Entstehung des Planetensystems** gefestigt. Inzwischen ist ziemlich sicher, dass der **Mond aus einer Kollision** der sich bildenden Erde mit einem Planetoiden von der Größe des Marses **entstanden** ist.

Am **20.6.1969** gewannen die Amerikaner mit der **ersten Mondlandung** durch *Neil Armstrong, Edwin Aldrin und Michael Collins* den langen Wettlauf mit der Sowjetunion.

Zum Nachdenken:

In welchen Mondphasen sind Finsternisse möglich?

Bildquelle: Lick Observatory

Der Mars

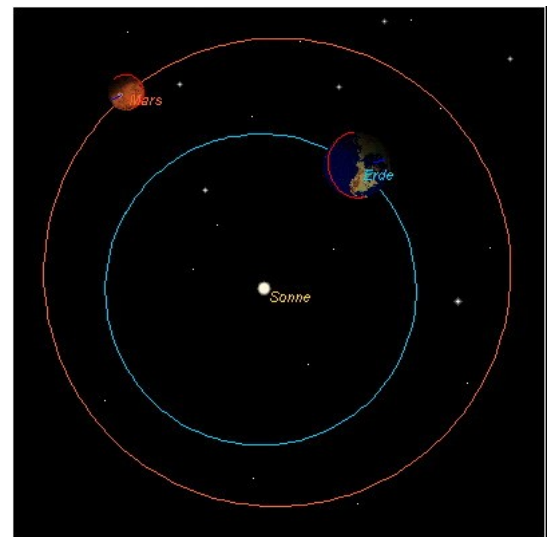
Unser **Nachbarplanet** findet zur Zeit das besondere Interesse von **Forschung, Raumfahrt** und Medien.

Wegen seiner Zusammensetzung und Lage gilt er als der **erdähnlichste Körper** im Sonnensystem. Von der Sonne ist er im Mittel **230 Millionen km** entfernt, also **1½ mal** so weit wie die Erde. Stofflicher Aufbau und Sonneneinstrahlung kommen den **Erdverhältnissen** am nächsten. Der Mars hat einen **Durchmesser** von **6794 km**, der damit etwa **halb so groß wie der unserer Erde** (und doppelt so groß wie der des Mondes) ist.

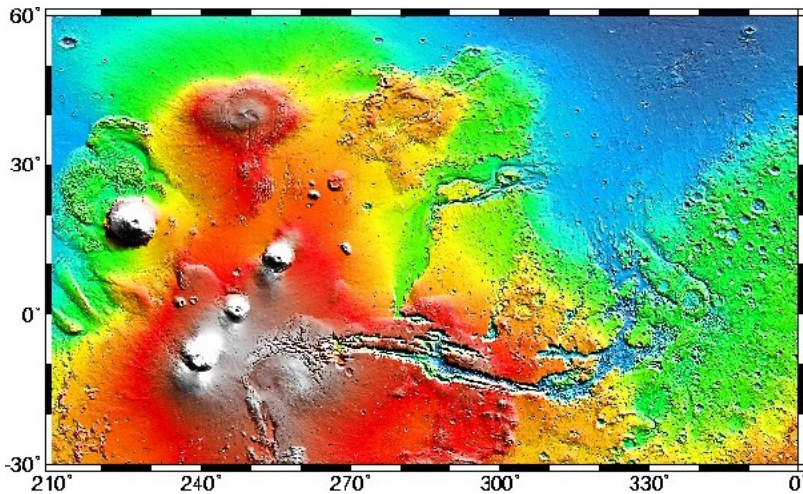
Zum **Umlauf um die Sonne** braucht er knapp **1,9 Jahre**, so dass er alle 2 Jahre von der innen laufenden Erde überholt wird. Dann kommen wir ihm immer sehr nahe. Dann erscheint er groß und lichtstark am Mitternachtshimmel, wie zuletzt im August 2003.

Auch mit den **24½ Stunden Rotationsdauer** gleicht er unserer Erde.

Deshalb beschäftigt uns die Frage, ob **Leben auf dem Mars** möglich ist oder gar schon existiert hat. Entscheidende Voraussetzung dafür ist **Wasser**. Im Gegensatz zum Mond gibt es Verwitterungsspuren und vermutete ehemalige Wasserläufe. Eine größere **Wassermenge** unter der Oberfläche konnte aber erst von den jüngsten **Marssonden** sicher **nachgewiesen** werden. **Leben** auf unserem Nachbarplaneten hingegen konnte bisher nicht gefunden werden, **auch nicht in einfachster Form**.



Der Mars besitzt eine **Atmosphäre**. Sie ist im Vergleich zur Erde sehr dünn und besteht fast nur aus **Kohlendioxid**. Sauerstoff kommt so gut wie überhaupt (noch?) nicht vor. Für eine Besiedlung müsste also noch viel geändert werden – oder es bliebe bei geschlossenen Stationen mit örtlich angepassten Luftverhältnissen.

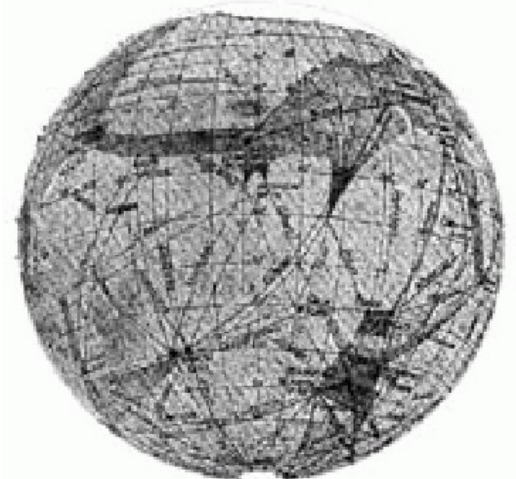


Das Bild vom Äquatorbereich zeigt weißblaue Wolken aus Wassereis über den **3 großen Vulkanen** nördlich der großen **Marstäler** (Valles Marineris; nach der Sonde Mariner 1973

benannt), einem Cañonsystem in Ost-West-Richtung ca. 4000 km lang und bis 3000 m tief. Der höchste Vulkan Olympus Mons ist fast **27 km** hoch!

Den Namen „**roter Planet**“ hat er von Eisenoxiden im Sand seiner Staubwüsten.

Seit den Beobachtungen von Schiaparelli (1877) beschäftigen uns die **Marskanäle**: Haben **Marsbewohner** Wasserleitungen von den Polen zu den trockenen Regionen gebaut? – Nein! Es war die **Qualität der damaligen Fernrohre**, die solche Phantastereien zuließ.



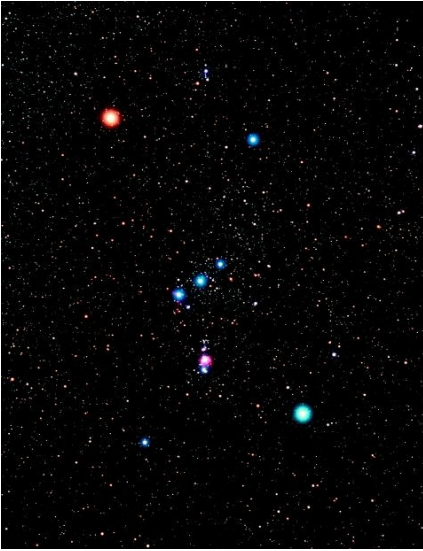
Zum Nachdenken:

Beurteile die Realisierbarkeit einer Marsbesiedlung!

(Energiebedarf bei der Anreise – Reisedauer – Anpassung der Atmosphäre – für wie viele Menschen?)

Bildquelle: NASA, JPL (Jet Propulsion Laboratory)

Der Orionnebel M42



Den **Nebel M42** finden wir im bekannten Wintersternbild Orion. Bei guten Sichtverhältnissen ist er auch **mit bloßem Auge erkennbar**.

Die **Aufnahme** zeigt ein prächtiges Farbpanorama vom Zentrum des **Orionnebels**. Das aus 15 Feldern zusammengefügte Bild bedeckt ungefähr **5% der Vollmondfläche**.

Fast das ganze Sternbild Orion befindet sich in einer riesigen **Wolke aus interstellarem Gas und Staub** in etwa **1500 Lichtjahren Entfernung**. Auch der bekannte Pferdekopfnebel ist Teil davon. Nach irdischem Maßstab würde die Wolke wegen ihrer geringen Dichte (100-1000 Atome pro cm^3) als extremes **Ultrahochvakuum** gelten.

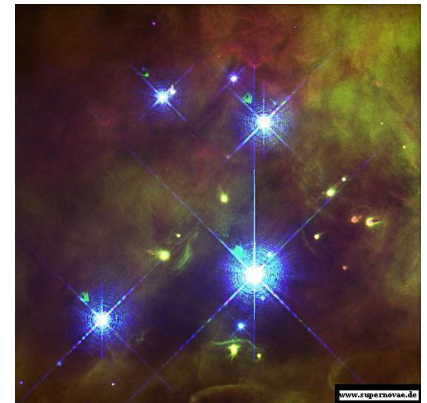


Die **Entstehung von neuen Sternen** lässt sich hier fast direkt beobachten: Durch die **Gravitation** ziehen sich aus Gas und Staub immer dichter werdende **Massen** zusammen, bis im Inneren **Druck und Temperatur** so **hoch** werden, dass die **Kernfusion** einsetzt und damit eine unerschöpflich scheinende Energiequelle erschlossen ist: Ein neues Sternenleben hat begonnen.

Die jungen, hellen Sterne **beleuchten die Gasmassen** ihrer Umgebung. Im Lauf der nächsten Jahrzehnmillionen werden die Gravitationskräfte die Gas- und Staubmassen abziehen, so dass das Gebiet **durchsichtig** wird. Jungsterne dieser Art lassen auch die **Spiralarme** von Galaxien so prächtig leuchten.

Spektraluntersuchungen identifizieren einen Großteil dieser Sterne als **blaue Riesen**. Solche Sterne sind wahre Energieverschwender. Obwohl sie ein Vielfaches der Masse unserer Sonne besitzen, können sie wegen ihrer **hohen Temperaturen** (an der Oberfläche bis zu 100 000 °C) und dem damit verbundenen **hohen Energiebedarf** nur einige 10 Millionen Jahre alt werden – weiße Sterne wie die Sonne (5770 °C) mit werden ca. 10 Milliarden Jahre alt, kühlere rote noch deutlich älter.

Im Zentralbereich dieser **Sternenwiege** befindet sich das sog. **Trapez**: Vier besonders helle, heiße Neugeborene, die „gerade“ sichtbar geworden sind. Kürzlich hat das HST dort auch einen Schwarm von ca. 50 „**braunen Zwergen**“ entdeckt.



Braune Zwerge sind **kleinere Körper** wie unser mächtiger Planet Jupiter. Wegen der zu geringen Massen wird die nötige **Zündtemperatur von 2550 °C** nicht erreicht. Ohne die **Kernfusion** strahlen sie nur schwach und sind zum Auskühlen verurteilt.

Zum Nachdenken:

Wie wären die Aussichten auf Entwicklung von Leben im Sonnensystem, wenn unsere Sonne ein heißer blauer Riese wäre?

Bildquelle: NASA; Hubble-Space-Telescope (HST)

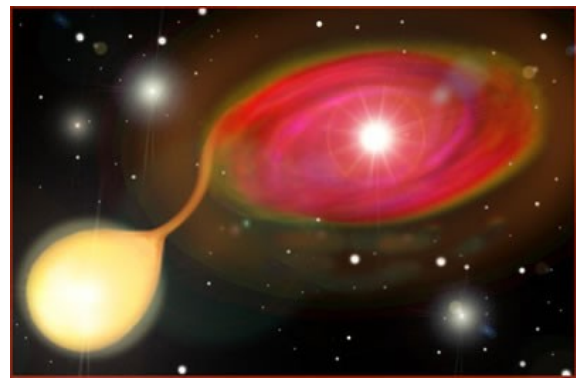
Echo einer stellaren Lichteruption

Im Januar 2002 sandte der bis dahin unauffällige Stern "**V838 Monocerotis**" im Sternbild Einhorn plötzlich einen so enormen **Lichtblitz** aus, dass er für kurze Zeit der **leuchtstärkste Stern der Milchstraße**, aber wegen der großen Entfernung von der Erde aus nicht mit bloßem Auge sichtbar, war.

An **Staubschichten**, die den Stern umhüllen, entsteht der in den Bildern gezeigte Effekt des **Lichtechos**: Dort **gestreutes Licht** erreicht die Erde über den indirekten Weg erst, nachdem die Lichteruption schon lange wieder abgeklungen ist. Man kann dadurch die **Lichtausbreitung** erkennen: Die **Zeitverzögerung** ist umso größer, je weiter die Staubschichten vom Zentralstern entfernt sind. So ergibt sich für die Astronomen sozusagen eine **Tomographie der umgebenden Staubwolke**, weil man im Laufe der Zeit immer weiter außen gelegene Schichten erkennen kann. Über die **Ausbreitungsdauer** kann der **Durchmesser des Lichtechos** berechnet werden; daraus ergibt sich ein **Abstand** von **V838 Mon zur Erde** von mindestens 7.000 Lichtjahren. Eine andere Möglichkeit (über die Polarisation des Streulichts) liefert sogar einen Mindestabstand von 20.000 Lichtjahren.

Beim **Ausbruch** von V838 Monocerotis handelt es sich um einen **bisher unbekanntem Typ**, für den es bisher keine physikalisch vollständig befriedigende Erklärung gibt. Es ist jedenfalls **keine Nova oder Supernova**.

Eine sog. **Nova** entsteht an einem **weißen Zwerg**, das ist eine enorm komprimierte Sternenleiche (über 100 t/cm^3 !). Wie rechts oben im Bild **fängt er Materie** von seinem Begleitstern **ein**. Diese wird derart **verdichtet**, dass explosionsartig Kernfusion einsetzt, so dass die äußere **Hülle** des Sterns **weggesprengt** wird und enorm **hell aufleuchtet**.



Eine **Supernova** entsteht bei einem **Kollaps** eines Riesensterns aufgrund der eigenen Schwerkraft, bei dem schließlich unter erheblicher **Energiefreisetzung** ein **Neutronenstern** (mit der unvorstellbaren Dichte von 100 Millionen t/cm^3 !) entsteht.

Zum Nachrechnen:

Die Cheops-Pyramide hat eine Masse von etwa 5 Millionen Tonnen. Welches Volumen hätte sie als Weißer Zwerg, welche als Neutronenstern?

Bildquelle: NASA/ESA: HST (Hubble Space Telescope)

Die Bilderserie wurde vom **Hubble Weltraumteleskop** gemacht. Jedes Bild hat eine Ausdehnung von nur $1/40$ Winkelgrad und wurde teilweise fast 1,5 Stunden belichtet!

Das HST umkreist seit 1990 die Erde auf einer **Umlaufbahn** in **600 km Höhe**.

Mit seinem **2,4m-Spiegel** liefert es Aufnahmen von höchster Qualität, ohne Störungen durch die Erdatmosphäre.



Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2005



2. **Der tiefste Blick ins Universum**



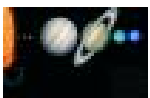
3. **Die Whirlpoolgalaxie**



4. **Ein Supernova-Überrest**



5. Der Mars (*seit 2004*)



6. Das Planetensystem (*seit 2003*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Der Mond (*seit 2004*)

Der tiefste Blick ins Universum

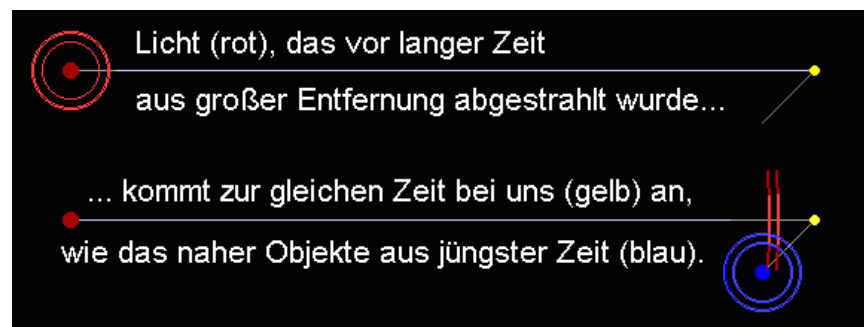
Das Bild zeigt das **HUFD (Hubble Ultra Deep Field)**, das ist nur ein winzig kleiner Bereich des Himmels (1% der Vollmondfläche) im Sternbild Fornax. Da sich hier nur **ganz wenige Vordergrundsterne** der Milchstraße befinden, konnte mit dem **Hubble-Weltraumteleskop** der **tiefste Blick ins Universum** erreicht werden, der bisher mit **sichtbarem Licht** möglich war. Für die Auflösung der extrem lichtschwachen Objekte (nur ein Photon pro Minute!) in **über 13 Milliarden Lichtjahren Entfernung** war eine **Belichtungszeit von einer Million Sekunden** (insgesamt 11,3 Tage) notwendig – dabei musste das Hubble-Teleskop die Erde 400 Mal umkreisen!

Von den ca. **10 000 Galaxien** des Bildausschnitts entsprechen **vor allem die näheren** (helleren) den geläufigen Typen **'spiralförmig'** oder **'elliptisch'**. (Siehe eigener Schaukasten.)



Die weiter entfernten haben zum Teil ganz **ungewöhnliche Größen, Formen und Farben**.

Wegen der **Lichtlaufzeiten** stammt die Information der **nahen Objekte** aus einer (kosmisch) **jüngeren Zeit**, während ein **Blick in die Ferne** auch einen **Blick weit in der Zeit zurück** darstellt.

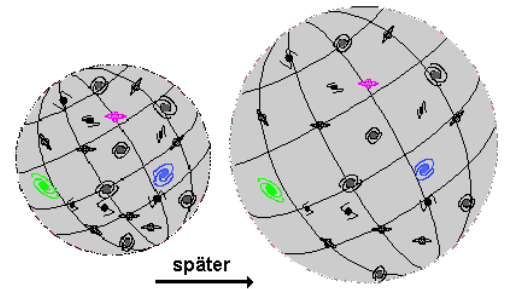


Von den kleinsten, stark roten, existierten einige bereits **400 Millionen Jahre nach dem Urknall** (der Entstehung des Universums)! So sind die fernen Galaxien Zeugen von der **Frühzeit des Universums**, als sich **Strukturen**, so wie Galaxienformen, **noch nicht entwickelt** hatten.

Die wesentlichen **Veränderungen** liefen dann aber sehr schnell ab: schon **eine Milliarde Jahre** später war das Universum im Wesentlichen so, wie wir es heute kennen. Darum sind **Projekte** wie HUDF für die Astronomen so **wichtig** zum Studium der **Entwicklung des gesamten Universums**.

Dieser **Fernblick** konnte durch die **Kombination** einer **Aufnahme im sichtbaren Licht** mit der Messung eines **Infrarot-Spektrometers** erreicht werden. Die Untersuchung des Infrarotlichts ist angebracht, da das **Licht** so weit entfernter Objekte sehr stark **ins Rote verschoben** ist. Der Grund liegt in der **Expansion des Universums**: die von ihr verursachte **Fluchtgeschwindigkeit** streckt die Wellenlängen bis auf das 12-fache.

Es ist der gleiche **(Doppler-)Effekt** wie bei einer weg-fahrende Sirene, die sich tiefer anhört.



zum Erstaunen:

Das Universum sollte beim Urknall in jeder Hinsicht gleichmäßig entstanden sein. Durch zufällige Schwankungen konnten aber doch Strukturen (wie Galaxien, Sterne und Planetensysteme) entstehen, ohne die unser Dasein unmöglich wäre.

Bildquelle: NASA, ESA; HST (HUDF-Team)

Die Whirlpool-Galaxie

Die **typische Spiralgalaxie M51** hat (wie ca. 10% aller Spiralgalaxien – die vom **”Grand-Design”-Typ**) **zwei symmetrische, deutlich ausgeprägte Arme** und wird deshalb **Whirlpool-Galaxie** genannt. Wie bei jeder **Galaxie** (und so auch bei unserer Milchstraße) handelt es sich um eine Anhäufung von **Gas- und Staubmassen** mit ca. **100 Mrd. Sternen** im sonst so unglaublich leeren Weltraum. Sie ist etwas kleiner als unsere **Milchstraße**, die mit **100.000 Lichtjahren Durchmesser** zu den größeren Spiralgalaxien gehört.

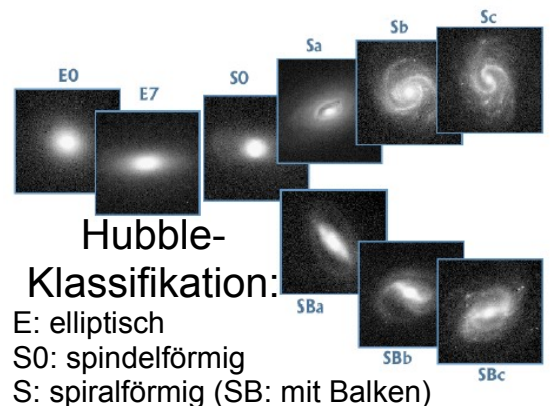


Ansicht beim
Aufgang im Osten

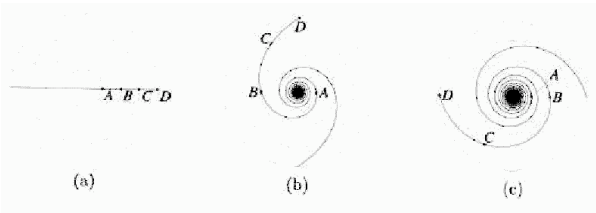
Im Sternbild **Jagdhunde kann** M51 mit Teleskopen **sehr gut untersucht** werden, weil sie hoch über der Milchstraßen-ebene mit ihren absorbierenden Staubwolken liegt. Die **Entfernung** von ca. **37 Mio. Lichtjahren** ist **relativ gering** – verglichen mit dem mittleren Abstand zwischen Einzelgalaxien, der ca. 10 bis 100 Galaxien-Durchmesser beträgt.

Zudem präsentiert sich M51 in **direkter Draufsicht!**

Gut $\frac{2}{3}$ der mit Teleskopen **sichtbaren Galaxien** sind flache Scheiben mit **Spiralstruktur**, während ca. $\frac{1}{4}$ **elliptisch oder spindelförmig** (wie übergroße Kugelsternhaufen) sind.



(Tatsächlich ist der Anteil der **Spiralgalaxien** geringer, da diese wegen ihrer **hohen Sternentstehungsraten leuchtstärker** und damit auch **noch aus größerer Entfernung sichtbar** sind. Er beträgt etwa 20 - 30%.)



Wegen der **differentiellen Rotation** (Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit mit dem Abstand vom Zentrum)

sollten radiale Strukturen wie Spiralarme **auf keinen Fall** über mehrere 100 Mio. Jahre **existieren!**

Die **Dichtewellen-Theorie** liefert folgende Erklärung: Die Spiralarme sind **nicht materiell**, sondern starre **Störungen** mit 10 - 20% höherer Dichte: **Staustellen** im **Fluss** der interstellaren Materie quer zu den Armen!

(In der Whirlpool-Galaxie wird die Störung vermutlich von der **Gravitation** der **Begleitgalaxie** NGC 5195 verursacht, die hinter ihr **vorbeizieht**.)



Man erkennt, dass sich auf der **Innenseite** der Spiralarme **dunkle Gaswolken** befinden. Diese werden nach Eintritt in die Dichtewelle **komprimiert**, was die **roten**, hell-leuchtenden **Sternentstehungs-Gebiete** erzeugt. Ganz **außen** findet man dann helle, blaue **Jungsterne**. (Im **Zentrum** befinden sich eher **deutlich ältere gelblich-rote Sterne**.)

zum Ausrechnen:

Wie viele durchschnittliche Galaxienabstände passen in die Entfernung zur Whirlpool-Galaxie?

Bildquelle: NASA, ESA; Hubble-Space-Telescope

Ein Supernova-Überrest

Die mächtige und chaotisch erscheinende **Gas- und Staubwolke N 63 A** befindet sich in der **großen Magellanschen Wolke**, der nächsten Nachbargalaxie unserer Milchstraße in **160.000 Lichtjahren Entfernung**. Bei N 63 A handelt es sich um **Überreste eines Sterns** von ca. **50-facher Sonnenmasse**, der einst in einer **Supernova** explodiert ist.

Das **Endstadium eines Sterns** ist erreicht, wenn sein **Fusionsbrennstoff verbraucht** ist. Bis dahin sind **Sterne stabil**, weil sie dem **Druck der eigenen Gravitation standhalten**, indem sie durch Kernreaktionen **Energie** (in Form von Licht und stellarem Wind) **freisetzen**. Wenn diese nicht mehr aufrecht erhalten werden können, **verdichtet** sich der Stern und **erhitzt** sich schnell auf mehrere Milliarden Grad. Dadurch können kurzfristig **neue Fusionsreaktionen** einsetzen und es **entstehen schwerere Elemente** als Wasserstoff und Helium, den Urstoffen des Universums.

Ein Stern mit einer gewissen **Mindestmasse** kann sich am Ende dieser Fusionsreihen **nicht mehr** auf diese Weise **stabilisieren** und es kommt schließlich zu einer **Supernova-Explosion**: Der Zentralbereich des Sterns komprimiert sich zu einem harten **Neutronenstern** mit der **gewaltigen Dichte** von Millionen Tonnen pro Kubikmillimeter. An diesem Kern **prallt der Rest des kollabierenden Sterns zurück** und erzeugt (zusammen mit dem riesigen Strom von Neutrinos) **Schockwellen**, die die **Außenhülle** mit 10.000 km/s **abstoßen**. Die abrupte **Vergrößerung der leuchten-**

den **Oberfläche** ist für die anfänglich **enorme Helligkeit** eines Supernova-Ausbruchs verantwortlich: Einige Tage lang kann nahezu die **Leuchtkraft einer gesamten Galaxie** (ca. 10 - milliardenfache Sonnenleistung) erreicht werden!

Der **starke stellare Wind** (ein Teilchenstrom von der Oberfläche), den der **massive Stern** zu "Lebzeiten" **erzeugt** hat, hat in der Umgebung eine fast **leere Blase freigefegt**, wie man auf dem blauen Röntgenbild links unten erkennen kann. Die gewaltige (orange leuchtende) **Wolke N 63** blieb wegen ihrer **großen Dichte bestehen**. Sie wurde erst von der **Schockwelle** der **Supernova erschüttert** und **zerrissen**! Diese hat auch das **Material** am Rand der Blase auf **ca. 10 Millionen Grad erhitzt**, was das **Glühen im Röntgenlicht** verursacht.

Während hier die benachbarte **Gaswolke verwirbelt** wurde, **bewirken Supernovae** in anderen Materiewolken durch **Verdichtung** und **Anreicherung mit schweren Elementen** die **Stern- und Planetenentstehung**. Die **Gasausstöße der Supernova** werden in dem 10 - 15 Lichtjahre von N 63 A entfernten **Gebiet** der großen Magellanschen Wolke, das **bereits jetzt Sterne bildet**, wohl noch **weitere heftige Veränderungen** bewirken. Das tritt aber erst in einigen Millionen Jahren ein.

Zum Bewundern:

Beim Urknall ist praktisch nur Wasserstoff entstanden – die Materie, aus der die Erde (wie auch unser eigener Körper) besteht, muss also bei einer Supernova gebildet worden sein!

Bildquelle: NASA: HST, Chandra-Röntgensat. u.a.

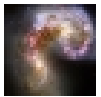
Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2007



2. Der tiefste Blick ins Universum (*seit 2005*)



3. **Eine Galaxienverschmelzung**



4. **Der Crab-Nebel**



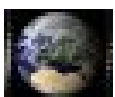
5. **Der Saturn**



6. **Das Planetensystem** (aktualisiert)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. **Die Erde** (neu)

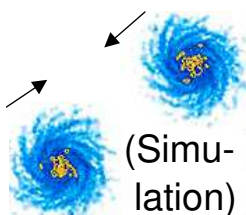
Eine Galaxienverschmelzung

Sterne (wie unsere Sonne) **entstehen in Galaxien**. Das sind **Ansammlungen** von ca. **100 Milliarden Sternen** mit rund **100 000 Lichtjahren Durchmesser**; so wie unsere Milchstraße, in der unser Sonnensystem enthalten ist. In den Armen von **Spiralgalaxien** wird interstellares Gas zu neuen Sternen komprimiert. Die **vielen blauen Sterne** zeugen von der **Sternentstehung**: Blaue Sterne können im Vergleich nur (kosmisch) **jung** sein, da sie besondere Energieverschwender sind: so **heiß** und **hell**, dass sie schon **nach einigen Millionen Jahren ausgebrannt** sind.

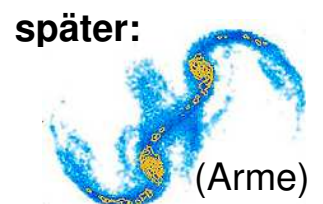


Elliptische Galaxien enthalten **nur noch masseärmere, rote Sterne**, die mit ihrem Brennstoff **Milliarden Jahre** auskommen.

Im Gegensatz zu **Sternen**, die im Vergleich zu ihren Abständen so klein sind, dass **Zusammenstöße** äußerst **unwahrscheinlich** sind, kommt es schon leichter zu einer **Kollision von Galaxien**. Die **Gravitation verwirbelt** die beiden dabei so, dass eine unstrukturiert erscheinende, sogenannte **irreguläre Galaxie** entsteht (siehe Bild).

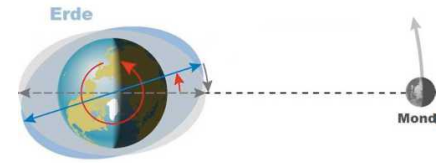


Oft, das zeigen auch Computer-Berechnungen, bilden sich dabei **Gezeiten-Arme**: die **Gezeiten-**



kraft (unterschiedliche **Gravitationskraft** an der zu- und

abgewandten Seite) zieht die Gasmassen auseinander. Bei den **Gezeiten auf der Erde** bewirkt ja die **Anziehung des Mondes** auch **zwei Flutberge** von **Wassermassen**: einer auf der Seite zum Mond hin, der andere gegenüber.



Die **Antennen-Galaxien** (die **ausgeprägten Gezeiten-Arme** waren namensgebend), die sich (erst!) seit wenigen **100 Millionen Jahren** beeinflussen, befinden sich in ca. **62 Mio. Lichtjahren Entfernung** im Sternbild Rabe (Corvus). Sie sind damit das **jüngste und nächstgelegene** Beispiel einer **Galaxienverschmelzung**.

Die **ursprünglichen Zentren** sind noch als **orange leuchtende Flecken** erkennbar. Die **Gravitations-Wechselwirkung** verursacht die **Entstehung** von Milliarden **neuer Sterne**, was wieder an den **blauen Gebieten** zu erkennen ist. Das **rote Leuchten** (eigens mit einem speziellen H_{α} -Farbfilter sichtbar gemacht) markiert von diesen Jungsternen **aufgeheizte Wasserstoffwolken**. Die **dunklen Filamente** (fadenartige Strukturen) werden von **Staubmassen** verursacht, die das Licht der Galaxien abschirmen.

Für die fernere Zukunft:

Auch **unsere Milchstraße** und die ca. 2,5 Mio. Lichtjahre entfernte **Nachbargalaxie Andromeda** **bewegen** sich mit 266 km/s **aufeinander zu** und werden vermutlich **in einigen Milliarden Jahren kollidieren**. *Ob die beiden Spiralgalaxien dann wohl ebenso spektakulär verschmelzen?*

Bildquelle: NASA, ESA; Hubble-Space-Telescope

Der Crab-Nebel

Den **Crab-Nebel M1** findet man im **Wintersternbild Stier** (Taurus). Bei guten Sichtverhältnissen ist er **schon im einfachen Amateurfernrohr erkennbar**. Die Darstellung zeigt die detailreichste bisher gemachte Aufnahme von M1 des Hubble-Teleskops. Das aus 24 Feldern zusammengefügte Bild bedeckt gerade **5% der Vollmondfläche**.

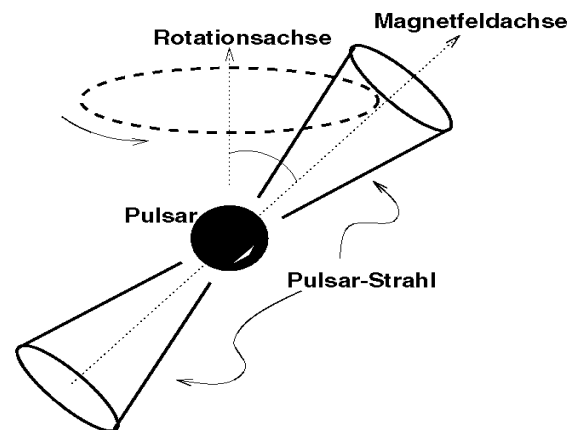
Am 4. Juli **1054** bemerkten chinesische Astronomen an dieser Stelle plötzlich einen **äußerst hellen „Gaststern“**, der einige Zeit sogar bei Tag gesehen werden konnte. Ein **zuvor unscheinbarer Stern** flammte als **Supernova** auf. Felsmalereien in Nordamerika deuten darauf hin, dass dieses Naturschauspiel auch dort registriert wurde.

An seinem „**Lebensende**“ kann ein Stern **keine Energie mehr erzeugen** und **zieht sich zusammen**. Bei mehr als 1,4 Sonnenmassen lösen die **gewaltigen Gravitationskräfte** sogar die Atome auf: die Elektronenhüllen werden in einer **Supernova-Explosion**, die den kollabierenden Stern für wenige Tage so **hell wie eine ganze Galaxie** macht, in die Atomkerne gedrückt, so dass eine **äußerst dichte Packung von Neutronen** entsteht – ein **Neutronenstern** mit nur **wenigen Kilometern Durchmesser**. Seine Dichte ist so groß, dass ein **Kubikzentimeter** davon eine Masse von **100 Millionen Tonnen** hätte!

Treffen beim Kollaps die äußeren Gasmassen auf den entstandenen harten Kern, entsteht eine **Schockwelle**, die sie wieder **nach außen schleudert**. Wir sehen heute noch,

dass sich der Crab-Nebel mit ca. **1 500 km/s** ausbreitet. Inzwischen ist der **Durchmesser** auf **11 Lichtjahre** angewachsen, was in der großen **Entfernung** von **6 500 Lichtjahren** nur 6,8 Winkelminuten ($\approx \frac{1}{4}$ Vollmondurchmesser) sind. Die **Kollision mit interstellarem Gas** aus der Umgebung **heizt den Überrest** auf mehrere **Millionen Grad** auf, so dass dieser Strahlung vom **sichtbaren Licht** bis in den **Röntgenbereich** hinein abgibt. Die Art der Explosion sorgt für die **Filamentstruktur** des Nebels: Wie in roten Wollfäden leuchtet erhitzter Wasserstoff.

Wie eine Eistänzerin nach dem Anlegen ihrer Arme ihre **Rotationsfrequenz steigert** (Drehimpulserhaltung), kommt auch ein zusammengestürzter Neutronenstern zu einer unglaublichen **Rotation** (bis 1 000 Umdrehungen / Sekunde; 30 im Falle des Crab-Nebels) und erzeugt ein **gewaltiges Magnetfeld** (ca. billionfaches des Erdmagnetfelds). In dem werden **geladene Teilchen herumgewirbelt** und erzeugen sogenannte **Synchrotronstrahlung**. Diese **Radiostrahlung** erreicht uns aber nur, wenn das **rotierende Magnetfeld auf uns zeigt**. So empfangen wir vom Neutronenstern **gepulste Strahlung** mit bis zu 1 000 Blitzen je Sekunde. Darum werden diese kosmischen **Leuchttürme** auch **Pulsare** („pulsating radio stars“) genannt.



Zum Nachdenken:

Welche Masse hätte unser Körper (Volumen ca. 100 dm^3), wenn er aus Neutronensternmasse wäre?

Bildquelle: NASA; Hubble-Space-Telescope (HST)

Saturn – Der Herr der Ringe

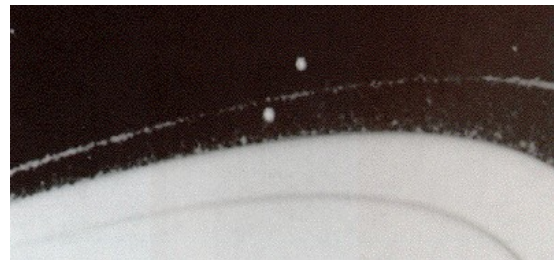
Saturn umkreist die Sonne als 6. Planet im **Abstand** von **9,6 Erdbahnradien** in **29,5 Jahren**. Er ist nach Jupiter (und vor Uranus und Neptun) der **zweitgrößte Gasriese** unseres Planetensystems. Mit **120 000 km Durchmesser** ist er fast 10 mal so groß wie die Erde. So ist er trotz der Entfernung als eines der hellsten Objekte am Himmel **mit bloßem Auge gut erkennbar**.

Die **Atmosphäre** des Saturns besteht überwiegend aus **Wasserstoff** und **Helium**. In **tieferen Schichten verflüssigen** sich diese Gase zwar durch den **hohen Druck**, aber es gibt **keine feste Planetenoberfläche**, wie man sie von den erdähnlichen (inneren) Planeten kennt. Das **gelblich-braune Aussehen** stammt von einer **Wolkendecke** aus überwiegend **gefrorenen Ammoniakkristallen**. Man erkennt unterschiedlich gefärbte **Wolkenbänder** parallel zum Äquator. Das sind **Strömungszonen** mit **unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten**, die von der **schnellen Rotation** (in nur **10 Stunden!**) **angetrieben** werden. Dazwischen sieht man **riesige Wirbelstürme** als größere Flecken.

Sein **Ring-System** macht Saturn im **Fernrohr** wohl zum aufregendsten Planeten. Es besteht aus **Eis- und Gesteinspartikeln** von Staubkorngröße bis ~10 m, die den Planeten so **dicht umkreisen**, dass sie wie eine (bis auf wenige Lücken) geschlossene **Scheibe** mit fast **einer Mio. km Durchmesser** bei nur **wenigen 100 m Dicke** erscheinen. Man vermutet, dass sie **aus einem**

größeren **Mond entstanden** sind, der **von den Gezeitenkräften** nahe des Saturns **zerrissen** worden ist.

Natürlich werden nicht all die **Millionen Trümmer**, die den Saturn umkreisen, als **Monde** klassifiziert. **Titan**, der größte der **56 benannten Monde**, ist mit **5 150 km Durchmesser** fast halb so groß wie die Erde. Einige Monde bewegen sich in der **gleichen Bahn**, nur um 60° gegeneinander versetzt. Eine Besonderheit bilden auch **Janus** und **Epimetheus** auf fast der gleichen **Umlaufbahn**, die sie alle vier Jahre, wenn sie sich ganz nahe kommen und sich anziehen, **austauschen**. Die **Lücken im Ringsystem**, deren augenfälligste die **Cassini'sche (Zwei-)Teilung** ist, werden von der **Anziehungskraft der Monde** sowie **der Ringe** selbst verursacht. Kleinere Monde, so genannte **Schäferhundmonde** kreisen in den **Lücken** und an den **Rändern**, ziehen die Materie abwechselnd beim Vorbeiziehen an und **stabilisieren** so auch das **Ringsystem** insgesamt.



Die **Bildmontage** zeigt **Polarlichter** auf dem Saturn im Verlauf **mehrerer Tage**. Dabei werden **geladene Teilchen**, die von der Sonne stammen, (**Sonnenwind**) **entlang des Saturn-Magnetfelds abgelenkt** und so **zu den Polen** geleitet. Dort geben sie ihre **Energie** an die **Atmosphäre** ab und regen sie zum **leuchten** an.

Zum Nachdenken:

Inwiefern zeigen die irdischen Polarlichter, dass wir vor dem lebensbedrohendem Sonnenwind geschützt werden?

Bildquelle: NASA, ESA (Hubble + Cassini-Sonde)

Das Planetensystem

Die **Sonne** besitzt **99,87 %** der **Masse** des ganzen **Planetensystems**. Aufgrund ihrer Anziehungskraft wird sie von den **8 Planeten** (Merkur "Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unseren Nachthimmel." für Reihenfolge Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun), sowie vielen **Asteroiden**, **Kometen** und einigen **Zwergplaneten** umrundet. Während **Merkur** seinen Umlauf in 0,4-facher Erdentfernung (150 Mio. km = eine „astronomische Einheit“: 1 AE) in 88 Tagen absolviert, braucht **Neptun** mit durchschnittlich 30 AE Entfernung 165 Jahre.

Die **Entstehung des Planetensystems** mit der **Sonne** erfolgte vor ca. **4,6 Mrd. Jahren** aus einer **Gas- und Staubwolke**. Unter sehr **speziellen Bedingungen** blieb um die sich bildende Sonne eine **rotierende Staubscheibe** erhalten, aus deren **Verdichtungen** die **Planeten** entstanden.

Die **inneren Planeten** Merkur, Venus, Erde und Mars sind im wesentlichen **Gesteinsbrocken**, die in **Größe** und **Aufbau** der **Erde ähnlich** sind. Sie konnten **kaum Monde** an sich binden: Außer der Erde mit dem relativ großen Erdmond hat nur noch der Mars zwei winzige Satelliten.

Ganz anders sind da die **äußeren Planeten** Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, die **viel größer** sind: Der **größte Planet Jupiter** hat den 11-fachen Durchmesser und die 318-fache Masse der Erde. Sie bestehen v.a. aus den **Gasen** Wasserstoff und Helium, die sich im Zentrum wegen des hohen Drucks verflüssigen. Aufgrund der starken **Gravitationskraft** findet sich jeweils eine ganze **Schar** von **Monden**, sowie die v.a. von Saturn bekannten **Ringe** aus feinem Staub, Eis und Gesteinsbrocken.

Die meisten **Bilder** und **Daten** von den Planeten und ihren Monden stammen von den **Sonden** **Pionier 10 + 11** und v.a. **Voyager 1 + 2** aus den 1970er Jahren und seit 1990 natürlich auch vom **Hubble-Teleskop**.

Im **Asteroidengürtel** zwischen der **Mars-** und der **Jupiterbahn** wurden seit 1801 mehrere **kleinere** Objekte (deren größtes, Ceres, einen Durch-

messer von 975 km hat, also 7,6 % des Erddurchmessers) entdeckt, die wegen zu **geringer Eigengravitation** oft **nicht** einmal **kugelförmig** sind. Ceres, Juno, Vesta und Astraea wurden **bis ca. 1850 auch als Planeten bezeichnet**, was dann wegen der **vielen Asteroiden-Neuentdeckungen** aber wieder abgeändert wurde.

So wurde auch 2006 der Planetenstatus des 1930 entdeckten **Pluto**, dessen **Größe** (nur 2 300 km Durchmesser) ursprünglich **überschätzt** wurde, wieder aberkannt, da er schon lange als **Außenseiter** gegolten hat (Seine Bahn ist am stärksten **elliptisch** und gegen die der anderen Planeten **um 17° geneigt**; einziger Mond **Charon** ist halb so groß wie Pluto.) und in der Zwischenzeit mehrere **transneptunische Objekte im Kuiper-gürtel entdeckt** worden sind (seit 2002: Quaoar, Orcus, Sedna, Eris).

zum Nachdenken:

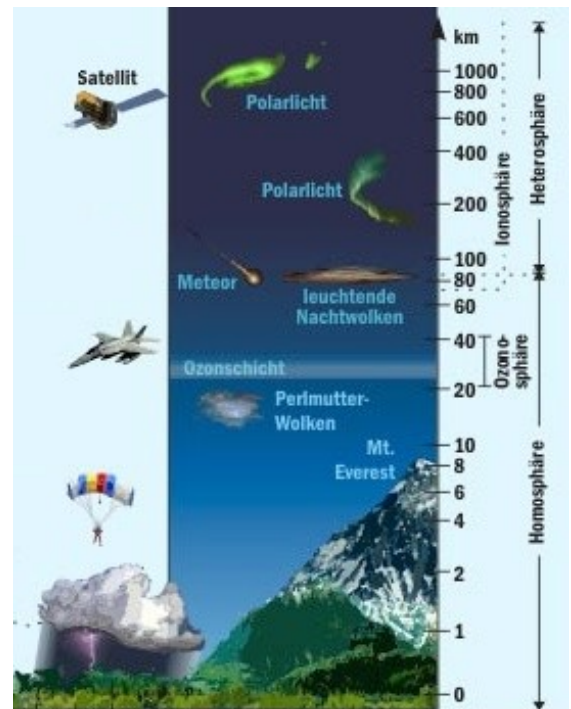
Wie viele Planeten gibt es um die 200 Mrd. Sterne allein in unserer Galaxis, und auf wie vielen könnte Leben möglich sein?

Bildquelle: Zeitschrift Sterne und Weltraum (SuW)

Unser Heimatplanet Erde

Die **Erde** gehört als **3. Planet** des Sonnensystems nach Merkur und Venus, vor Mars, zu den **inneren Planeten**. Diese sind alle **erdähnlich**: sie besitzen einen (teils flüssigen) **Eisen-Kern** und darüber einen **Gesteinsmantel**, der außen von einer (bei der Erde: 40 km) **dünnen, festen Kruste** abgeschlossen wird. Von den **Gesteinsplaneten** ist die **Erde** mit **12 756 km Durchmesser** der **größte**.

Während die **äußeren Riesenplaneten** fast gänzlich aus **Gas** bestehen, besitzt die Erde eine nur **wenige Kilometer dünne Atmosphäre**, die wegen ihrer **Zusammensetzung** aus hauptsächlich **Stickstoff** (78%) und **Sauerstoff** (21%) **einzigartig** ist: Der **Mars** kann wegen seiner **geringen Massenanziehung** nur eine **noch dünnere Atmosphäre**



fest halten, der **Merkur** ist zudem auch noch **zu nahe an der heißen Sonne**, was das Entweichen der Gasmoleküle weiter begünstigt, und die dichte Atmosphäre der **Venus** besteht zu 96,5% aus **CO₂**, was sie auf **500 °C aufheizt**.

Die Erdatmosphäre **schützt vor** gefährlicher UV- und Röntgen-**Strahlung**, schwächt **Meteoriteneinschläge** und **bewahrt** unseren Planeten **vor** zu starker **Auskühlung**.

In ihren unteren Schichten spielt sich auch das **Wetter** ab, das zusammen mit dem **großen Wasservorkommen** (71% der Erdoberfläche werden von Ozeanen bedeckt) das **Aussehen** der Erde prägt, sowie **Leben ermöglicht**.

Die **Sonne** sendet uns **Licht und Energie**. Die **Rotation** der Erde in 24 Stunden erzeugt den Wechsel von **Tag und Nacht**.

Die **Schrägstellung** der **Erdachse** zur Sonnenrichtung und der **jährliche Umlauf** um die Sonne erzeugen die **Jahreszeiten** der **gemäßigten Breiten**. Im Extremfall geht die Sonne **jenseits der Polar- kreise** im Sommer nie unter (bleibt

allerdings immer flach), während sie im Winter erst gar nicht aufgeht. Während des **Sommers** auf der **Nordhalb- kugel** herrscht auf der **Südhalbkugel Winter** – siehe kleines Bild vom Einstrahlungswinkel der Sonnenstrahlen.

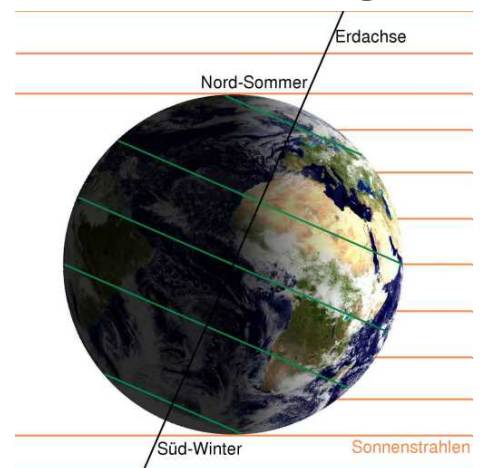
Am **Äquator** hingegen steht die **Sonne** immer nahezu **senkrecht** über der Erde, wodurch das **tropische Klima** entsteht. **Im Bild** ist der **Regenwaldgürtel** Zentralafrikas gerade noch zu erkennen. Nördlich davon sieht man die

von **Passatwinden** geprägte **subtropische Zone**, mit trockenen **Steppen** und **Wüsten**: Von der markanten **Sahara**, über **Ägypten** (mit dem fruchtbaren Nil-Tal) und **Arabien**, bis nach **Asien** hinein. Die beiden **Streifen** am Rand zeigen den **Schattenverlauf** am **21.6.** und **21.12.** .

Aufruf an uns alle:

*Der Lebensraum Erde ist einzigartig und unser einziger.
Wir müssen ihn uns unbedingt erhalten!*

Bildquelle: NASA (MODIS/Terra Satellit) + MhGlobProj



Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

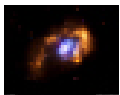
1. Übersicht 2009



2. **Galaxien-Kollisionen**



3. **Die unsichtbare Milchstraße**



4. **Eta Carinae**



5. **Der Jupiter**



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



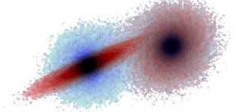
8. Die Erde (*seit 2007*)

Galaxien-Kollisionen

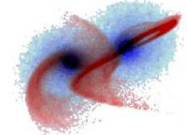
Die **Bewegung der Himmelskörper** wird nach den **Gesetzen der Mechanik** durch die **gegenseitige Anziehungskraft** bestimmt. Direkte **Zusammenstöße** sind bei einzelnen **Planeten** oder **Sternen** wegen ihrer vergleichsweise **geringen Größe** recht **unwahrscheinlich**. Bei **Galaxien**, deren **Größe 1 - 10%** ihres mittleren **Abstands** beträgt, kommt es dagegen viel leichter zur **Kollision**. Da eine solche mehrere **100 Millionen Jahre** dauert, kann ihr **Verlauf** freilich **nicht dynamisch beobachtet** werden.

Man kann aber versuchen, die **Kollision zweier Galaxien** (mit jeweils einigen hundert **Milliarden Sternen**) durch aufwändige **Computersimulationen** zu erforschen. Dabei zeigt sich, dass die **Form** der beiden Galaxien **zunächst** weitgehend **erhalten** bleibt, bis sie sich gegenseitig **durchdringen**. Wegen der **geringen Sterndichte** sind **direkte Zusammenstöße** nämlich fast ganz **ausgeschlossen**. Bei derart geringem Abstand kann die **Gezeitenkraft** – die entfernungsbedingt **unterschiedlich starke Gravitationskraft** auf die **verschiedenen Teile** eines Objekts (die im **Erde/Mond System Ebbe und Flut** verursacht) – die **Galaxien extrem verformen**, insbesondere

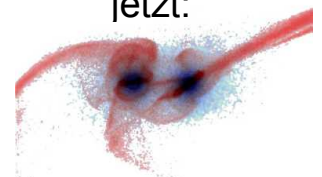
-200 Mio. Jahre:



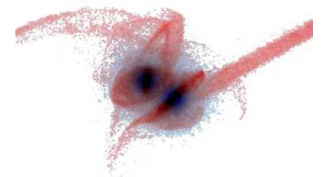
-100 Mio. Jahre:



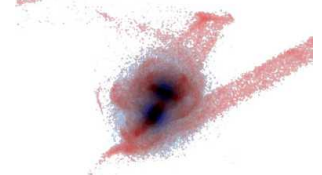
jetzt:



+100 Mio. Jahre:



+200 Mio. Jahre:



in die Länge ziehen. Dabei bilden sich häufig **Brücken** aus **Gas** und **Staub** zwischen den **wechselwirkenden Galaxien**. **Einzelne Sterne** können durch die **Turbulenzen** auch ganz **aus den Galaxien geschleudert** werden; diese treiben von da an alleine durchs Universum.

Für die **weitere Entwicklung der Galaxien** gibt es verschiedene Möglichkeiten: Die **zentralen Kerne** können sich wieder in **neue, irreguläre Teilgalaxien** aufspalten, oder von der (kontaktlosen) „**dynamischen Reibung**“ durch die **Anziehungskraft** so weit abgebremst werden, dass sie zum Schluß eine **elliptische Großgalaxie** bilden.

Die **Großbild-Montage** zeigt oben die **Mäusegalaxien** mit den typischen **Gezeitenarmen** als „**Mäuseschwänze**“ – Simulationen zufolge ca. 160 Mio. Jahre **nach ihrer ersten Durchdringung**. Während dem Galaxienpaar **Arp 272** (im Bild unten links) die erste Berührung noch bevorsteht, zeigt **Arp 148** (im Bild unten rechts) einen „**Durchschuß**“, dessen **Schockwelle** eine **Ringgalaxie** erzeugt hat.

Auch unserer **Milchstraße** steht eine **Kollision** bevor: Sie wird vermutlich in ca. 2 Milliarden Jahren auf unseren **galaktischen Nachbarn**, die **Andromedagalaxie**, treffen. Das **Sonnensystem**, das dann noch existiert, wird dabei (mitsamt der Erde) eventuell **nach wenigen 100 Millionen Jahren** in die **Außenbezirke** oder evtl. sogar ganz aus der neuen **elliptischen Großgalaxie** geschleudert werden.

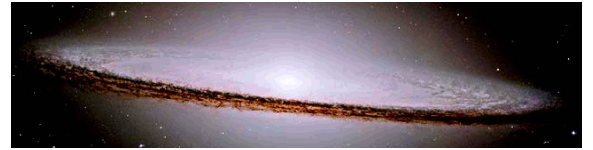
Zum Nachdenken:

Wie sähe der Sternenhimmel während der Durchdringung / am Rand der Großgalaxie / nach Verlassen der Galaxie aus?

Bildquelle: NASA, ESA (Hubble-Weltraumteleskop)

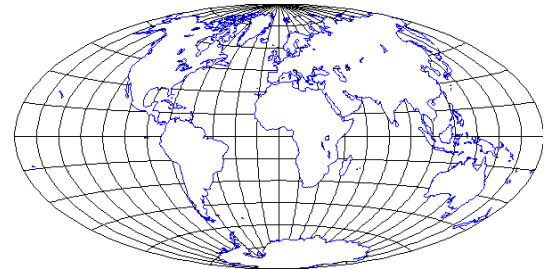
Die unsichtbare Milchstraße

Unsere **Galaxis** ist eine ca. **100 000 Lichtjahre große, scheibenförmige Ansammlung** von ca. **200 Milliarden Sternen**. Weil wir uns **selbst in dieser Scheibe** befinden und die meisten Sterne **zu weit entfernt** sind, um sie einzeln erkennen zu können, sehen wir nur ein **schmales, diffus leuchtendes Band am Himmel**, was zum Namen **Milchstraße** geführt hat. Ihr **Zentrum** befindet sich im **Sternbild Schütze** am **Südhimmel**; dort sieht man die **größte Sternen-Dichte**.



eine Spiralgalaxie von der Seite

Auf einer **galaktischen Himmelskarte** wird die ganze **Himmelskugel** abgebildet – so wie auf einer Weltkarte die ganze Erdoberfläche.



Die **Milchstraßen-Scheibe** entspricht dabei dem Erd-äquator. Das **große Bild** zeigt **vier Ausschnitte** aus solchen Karten mit dem galaktischen Zentrum in der Mitte.

Nur der erste Ausschnitt zeigt die vertraute Ansicht im **optisch-sichtbaren Licht**, mit leuchtenden **Sternen** und **Gaswolken**. Entlang der **galaktischen Ebene** finden sich viele **Dunkelwolken** aus **Staub**, die den Blick auf das eigentliche **Zentrum der Milchstraße** verwehren.

Die meisten Objekte **leuchten** jedoch **auch bei anderen**, für unsere Augen **unsichtbaren Wellenlängen** des Lichts. Seit dem 20. Jahrh. erschließt sich die **beobachtende Astronomie** diese neuen **Fenster zum Universum** .

Infrarotes Licht, z.B., wird **nicht** so stark **von Staub absorbiert**, wie man an der **zweiten Karte** erkennt. Man sieht **Sterne** von **weit hinter den Staubwolken**. Nur so konnte man die Sterne beobachten, die sich ganz eng um das **schwarze Loch im Zentrum** der Milchstraße **bewegen**. Da **infrarotes Licht** (mit etwas *größeren Wellenlängen* als rotes Licht) **Wärmestrahlung** ist, sieht man auch **aufgeheizte Staubwolken leuchten**; besonders in **Wolken** wie im Orion-Nebel, wo **neue Sterne entstehen**.

Das dritte Bild zeigt eine **Radio-Karte** der Milchstraße. **Radiostrahlung** hat eine *relativ große Wellenlänge*, bei der Absorption durch Staubwolken keine Rolle mehr spielt. Im Radiobereich leuchten **Sterne nur noch schwach**. Speziell in der hier gezeigten **21-cm-Strahlung** sieht man man **Wolken aus atomarem Wasserstoff** in der gesamten Milchstraße. Durch **Vermessung** der **Geschwindigkeit** (über die Dopplerverschiebung) weiß man, dass die Milchstraße **rotiert** und **Spiralstruktur** hat.



eine Spiralgalaxie

Das **letzte Bild** ist eine Aufnahme im **Röntgenbereich**. **Röntgenstrahlung** hat *1 000-mal kürzere Wellenlängen* als sichtbares Licht. Bei den **Quellen** so **energiereicher Strahlung** handelt es sich ebenfalls nicht um Sterne, sondern hauptsächlich um **Supernova-Überreste** oder **Röntgen-Doppelsterne**, bei denen Materie **in ein schwarzes Loch** oder **auf einen Neutronenstern fällt**. Auch viele Millionen Grad **heißes Gas** leuchtet im Röntgenlicht.

Zum Suchen und Finden:

Unsere Nachbargalaxien, die Magellanschen Wolken, sind südlich der Milchstraßen-Ebene in den 4 Bildern erkennbar.

Bildquellen: A. Mellinger, AKARI, LAB Survey, ROSAT

Eta Carinae – baldige Sternexplosion?

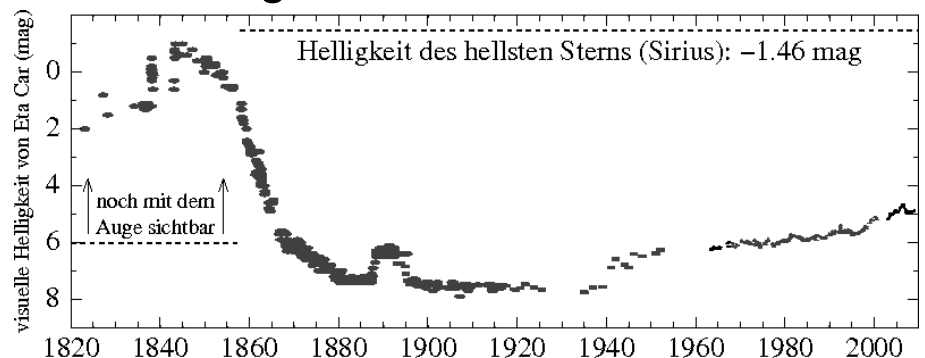
Das Bild zeigt die Umgebung des blauen **Hyperriesen-Sterns Eta Carinae**. Dieser Stern befindet sich **in sieben- bis zehntausend Lichtjahren Entfernung** im Sternbild Schiffskiel am Südhimmel. Mit **100 - 150 Sonnenmassen** gehört er zu den massereichsten Sternen der Milchstraße.

Alle **Sterne** sind – genau wie unsere Sonne – **Gaskugeln**, die im Inneren so heiß sind, dass sie durch **Kernfusion Energie erzeugen** und damit Licht **abstrahlen**.

Im Vergleich zur Sonne verursacht bei **massereicheren Sternen** der **größere Druck** der Schwerkraft eine **höhere Temperatur** im Zentrum, so dass die Fusionsprozesse dort schneller ablaufen können. **Schwerere Sterne** sind dadurch **leuchtkräftiger** – verbrauchen ihren „Brennstoff“ allerdings auch **schneller**. Während die Sonne ca. zehn Milliarden Jahre lang Energie erzeugen kann, „lebt“ ein sog. Hyperriese wie Eta Carinae mit **fünf Millionen-facher Leuchtkraft** der Sonne nur **wenige Millionen Jahre** lang.

Wegen der stark **zunehmenden Leuchtkraft** gibt es eine Massengrenze, oberhalb derer Sterne von ihrem eigenen **Strahlungsdruck** auseinander gerissen werden würden.

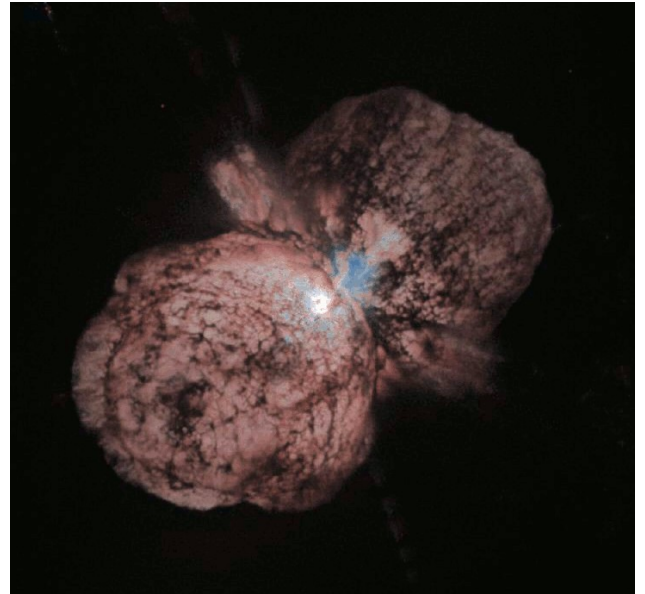
Eta Carinae ist nun gerade an dieser **Stabilitätsgrenze**, was ihn zum **veränderlichen Stern** macht, der schon



mehrere Ausbrüche

gezeigt hat. Mit der „**großen Eruption**“ wurde Eta Carinae **1843** fast so hell wie der hellste Stern Sirius; **nach 1865** war er **mit bloßem Auge** lange gar **nicht mehr sichtbar**.

Diese **Verdunkelung** wurde wahrscheinlich von **Staub** im sog. **Homunkulus - Nebel** verursacht, der während der großen Eruption **abgestoßen** wurde. Seitdem **breitet sich** dieser mit bis zu 700 km/s **aus** und hat bereits eine **Größe** von einem **halben Lichtjahr**.



Das große Bild ist eine Überlagerung der **optischen Ansicht** (blau) mit einer Aufnahme im **Röntgenlicht** (gelb-orange), die einen weiteren **hufeisenförmigen Nebel** mit einem Durchmesser von ca. **zwei Lichtjahren** offenbart. Dieser wurde mehr als 1.000 Jahre zuvor **bei einem anderen Ausbruch abgestoßen**. Das **Gas**, das mit **interstellarer Materie zusammenstößt**, wird dabei auf **einige Millionen Grad aufgeheizt**, so dass es **Röntgenstrahlung** aussendet.

Die stetige **Zunahme der Helligkeit** im 20. Jahrhundert wird durch die **Ausdehnung** der Staubwolke erklärt. Der **steile Anstieg** im Jahr **1998** ließ jedoch **erneute Aktivität** vermuten. Ob Eta Carinae **weitere Ausbrüche** überstehen wird, ist fraglich – er wird „**astronomisch bald**“ (spätestens **in 100.000 Jahren**) endgültig als **Supernova** explodieren und damit sein **Dasein als Riesenstern** endgültig **beenden**.

Zum Bewundern:

Diese enorme Explosion wird selbst am Tag zu sehen sein.

Bildquelle: Hubble (optisch) & Chandra (Röntgen)

Der Riesenplanet Jupiter

Jupiter gehört mit **Saturn**, **Uranus** und **Neptun** zu den **Gasriesen** unseres Planetensystems. Er besitzt **keine feste Planetenoberfläche**. Seine **Atmosphäre** besteht zu fast 90% aus **Wasserstoff** und ca. 10% aus **Helium**.

In großer Tiefe geht sie wegen des **hohen Druckes** allmählich in den **flüssigen** Zustand über. Darunter vermutet man einen **Gesteinskern** aus Eis und Silikaten.

Insgesamt hat Jupiter den **11-fachen Durchmesser**, das **1.400-fache Volumen**, sowie die **318-fache Masse der Erde**. Wäre er „nur“ noch 100-mal größer, so könnte der **Gewichtsdruck** im Kern (wie in der Sonne) **Kernreaktionen** zünden – und wir wären in einem Doppelsternsystem!

Mit ca. **70%** der **Masse** des ganzen **Planetensystems** bietet uns Jupiter **Schutz vor Meteoriten** und **Kometen**, da seine **Anziehungskraft** viele „abfängt“. So ein Glück!

Wegen der Größe des Jupiters sind im Fernrohr **Oberflächendetails** zu erkennen: die hellen und dunklen äquatorparallelen **Wolkenbänder** sind **Gasschichten** mit unterschiedlichen **Geschwindigkeiten**.



Mit einer **Umdrehung** in **weniger als 10 Stunden** treten auch **gewaltige Fliehkräfte** auf, die zu einer deutlichen **Abplattung** der Planetenscheibe des Jupiters führen.

Zwischen den Wolkenbändern erkennt man den **Großen Roten Fleck** schon in einem Amateurteleskop – ein etwa zwei Erddurchmesser **großer Zyklon**, der seit rund 300

Jahren nahezu stabil ist. Windwirbel in der Erdatmosphäre lösen sich im Gegensatz dazu immer schnell wieder auf.

Wie die anderen Riesenplaneten besitzt auch Jupiter eine große Anzahl von **Monden**. Über 60 sind bekannt. Die vier größten, **Io**, **Europa**, **Ganymed** und **Kallisto**, haben eine Größe wie unser Erdmond bzw. der Planet Merkur und wurden bereits **vor 400 Jahren** durch **Galileo Galilei**

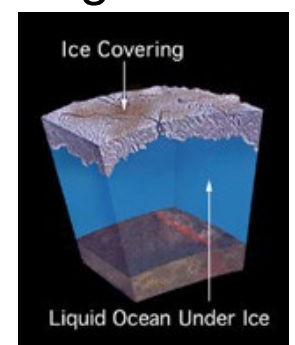


entdeckt. Sie können schon mit einem guten **Feldstecher beobachtet** werden. Da wir ihre **Umlaufebene** von der **Kante** her sehen, stehen die Monde hier wie auf einer Schnur aufgereiht.

Beim Vorbeiflug der Sonde Voyager 2 im Jahr 1979 wurden auf **Io** **Vulkan- ausbrüche** festgestellt; mittlerweile wurden sogar **Lavaströme** beobachtet. Die Wärme entsteht durch die enormen **Gezeitenkräfte** in der Nähe des Jupiters, die die Oberfläche von Io um bis zu 100 Meter auf und ab bewegen.



Im Gegensatz zu anderen Monden ist die Oberfläche von **Europa** sehr glatt; er ist mit einer ca. 20 km dicken Schicht aus **Wassereis** überzogen. Unter dem Eis könnte sich eine Art Schneematsch oder sogar **flüssiges Wasser** befinden, in dem sich vielleicht **Leben** entwickeln könnte.



Zum Nachdenken:

Welche Zufälligkeiten müssen in einem Planetensystem eintreten, damit sich darin Leben entwickeln kann?

Bildquelle: NASA JPL (Cassini, Galileo, Voyager 2)

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2012



2. **Omega Centauri**



3. **Wolf-Rayet Nebel**



4. **Der Helix Nebel**



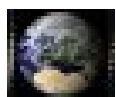
5. **Der Asteroid Lutetia**



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)

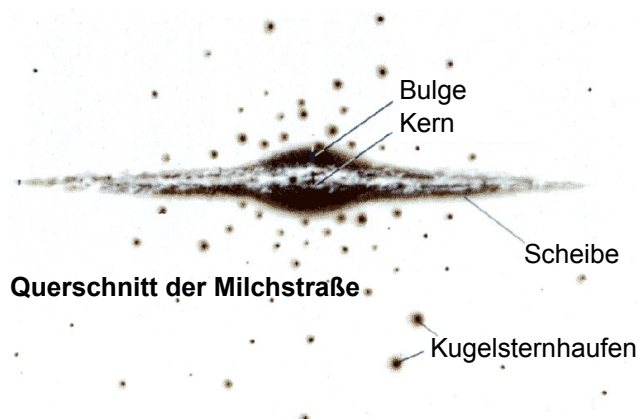


8. Die Erde (*seit 2007*)

Der Kugelsternhaufen ω Cen

Obwohl der Name **Omega Centauri** an sich einen Stern im Sternbild Zentaur erwarten läßt, handelt es sich hierbei um den **hellsten** und **größten Kugelsternhaufen** der Milchstraße, der **am Südhimmel** mit **bloßem Auge** gesehen werden kann. Ptolemäus katalogisierte ihn vor 2000 Jahren als **Stern**, Edmond Halley 1677 als **Nebel**. Erst John Herschel (der Sohn von Wilhelm Herschel, der 1781 Uranus entdeckte) erkannte um 1830, dass es sich vielmehr um eine **dichte Ansammlung von Sternen** handelt. Heute weiß man, dass ω Cen ca. **10 Mio. Sterne** enthält. Unter Umständen handelt es sich dabei um den **Kern** einer **Zwerggalaxie**, die der Milchstraße einverleibt wurde.

In unserer Galaxis gibt es über 150 **Kugelsternhaufen**, die oft auch "nur" aus einigen **hunderttausend Sternen** bestehen. Sie werden von der gegenseitige **Anziehungskraft** zusammengehalten und **bewegen sich** gemeinsam **um das Zentrum der Milchstraße**. Während die meisten



Einzelsterne in der **Scheibe** kreisen, reichen die Bahnen der **Kugelsternhaufen** weit in den kugelförmigen, ausgedehnten **galaktischen Halo** (siehe Grafik links).

Alle **Sterne** eines Kugelsternhaufen sind **ungefähr gleichzeitig entstanden**. Ihr **Alter** läßt sich am **Entwicklungs-**

zustand ablesen, da die **Sterne** verschiedene **Massen** haben und sich somit unterschiedlich **schnell entwickeln**. **Massereiche Sterne verbrennen** ihren Wasserstoffvorrat **extrem schnell** bei **hohen Temperaturen** und leuchten daher **blau** – allerdings nur **wenige Millionen Jahre** lang. **Massearme Sterne**, die bei nur **niedrigen Temperaturen** in **rot** strahlen, können **viele Milliarden Jahre** bestehen. Jeder **Farbe des Sternenlichts** ist somit eindeutig eine **Dauer der Phase der Wasserstoff-Fusion** zugeordnet. Anhand der Farbe der letzten Sterne in diesem Stadium kann so das **Alter des Sternhaufens** abgelesen werden.

Es ergibt sich, dass die **Kugelsternhaufen** die **ältesten** noch existierenden **Objekte der Milchstraße** sind. Omega Centauri, z.B., ist bereits ca. **zwölf Milliarden Jahre alt**. Da das gesamte **Universum** vor **13,7 Milliarden Jahren** entstanden ist, beinhalten die Kugelsternhaufen eine sehr **frühe Sternpopulation**. Dennoch finden sich in den **Atmosphären** der Sterne bereits **schwere Elemente** – wenngleich wesentlich weniger, als in heutigen Sternen. Diese müssen **von einer noch älteren Sternpopulation erbrütet** worden sein, da beim **Urknall** fast ausschließlich **Wasserstoff** und **Helium** entstanden sind. Die **Sterne der ersten Generation** waren vermutlich äußerst **massereich** und dementsprechend kurzlebig. Das erklärt auch, warum bisher noch **kein einziger solcher Stern entdeckt** wurde.

Zum Nachdenken:

Gibt es in Kugelsternhaufen wohl stabile Planetenbahnen?

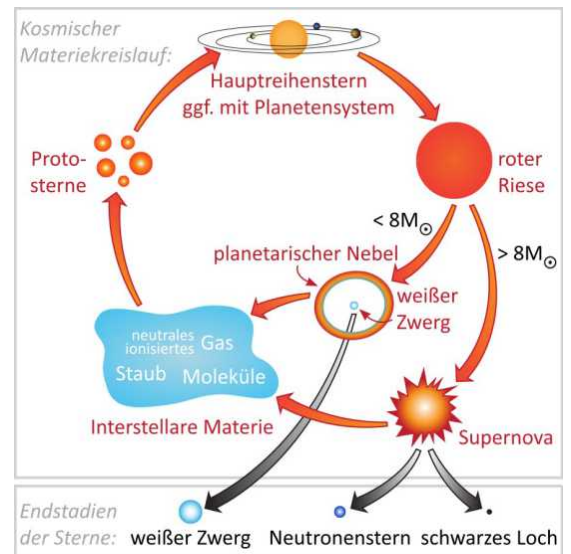
Bildquelle: Europäische Südsternwarte, La Silla

Wolf-Rayet Nebel

Die **interstellare Materie** (ISM), also das **Gas** und der **Staub** im Raum **zwischen den Sternen**, ist wesentlicher Bestandteil des **kosmischen Materiekreislaufs**: **Sterne entstehen** aus kalten Gas- und Staubwolken, die durch die **Gravitationsanziehung** der Massen kollabieren. **Sterne geben** umgekehrt im Laufe ihrer Entwicklung auch wieder **Materie** an das interstellare Medium **ab** – insbesondere, wenn sie ihren nuklearen Brennstoffvorrat verbraucht haben und ihr "Leben" in (je nach Masse verschiedenen) **Sternexplosionen** beenden.

Interstellare Materie kann, ihrer **Temperatur** entsprechend, in **unterschiedlichen Formen** beobachtet werden:

1. **Kalte Staubwolken absorbieren** das Licht dahinterliegender Objekte und können daher als regelrechte **Dunkelwolken** (wie z.B. der Pferdekopfnebel) erscheinen.
2. Wird das **Licht nahegelegener Sterne** in Gaswolken (so wie das Sonnenlicht in der Erdatmosphäre) **gestreut**, entstehen sog. **Reflexionsnebel**. Weil aus dem sichtbaren Spektrum die Farbe blau am stärksten umgelenkt wird, sind Reflexionsnebel (wie der Himmel) häufig blau.
3. Im Gegensatz dazu werden sog. **Emissionsnebel** zum **eigenständigen Leuchten angeregt**, indem sie von **sehr heißen** Sternen mit starker **UV-Strahlung** geheizt werden.



Das Bild zeigt den kugelförmigen **Emissionsnebel N76** in der **kleinen Magellanschen Wolke** – einer Nachbar-galaxie unserer Milchstraße in ca. **200 000 Lichtjahren Entfernung**. Mit einem **Durchmesser** von ca. **250 Lj** ist dieser Nebel relativ groß. Spektraluntersuchungen zeigen, dass das **Gas** zudem **äußerst hoch angeregt** ist. Nur ein **120 000 Grad heißer Stern** könnte den Nebel so heizen! Und in der Tat wird N76 von einer **außergewöhnlichen Quelle** bestrahlt, nämlich vom – in der Mitte des Nebels erkennbaren – **Doppelsternsystem 'SMC AB7'** mit einem **Wolf-Rayet Stern** (benannt nach Ch. **Wolf** und G. **Rayet**).

WR-Sterne sind **massereiche Sterne** (mit ursprünglich **mehr als 20 Sonnenmassen**) in einer sehr **späten Entwicklungsphase**, in der die **Fusion von Wasserstoff** zu Helium **bereits** durch höhere Reaktionen **abgelöst** wurde. Die **sehr heißen Sterne** sind so **leuchtkräftig**, dass der **Strahlungsdruck** große Mengen **Gas aus der äußeren Hülle** als sog. **Sternwind** mit bis zu **4 000 km/s** wegbläst. Im Bild des **Wolf-Rayet Nebels** sieht man, wie der WR-Stern eine **Blase im interstellaren Medium** erzeugt hat. Da der Massenverlust bis zu **eine Sonnenmasse** in **10 000 Jahren** betragen kann, ist die **Wolf Rayet-Phase** nur ein **kurzer Abschnitt** in der **Entwicklung masse-reicher Sterne**, bevor sie **endgültig ausgebrannt** sind und (höchst wahrscheinlich) als **Supernova explodieren**.

Zum Nachdenken:

Massereiche Sterne reichern das interstellare Medium durch starke Sternwinde und Supernova-Explosionen mit Sternens-taub an, aus dem letztendlich auch Menschen bestehen!

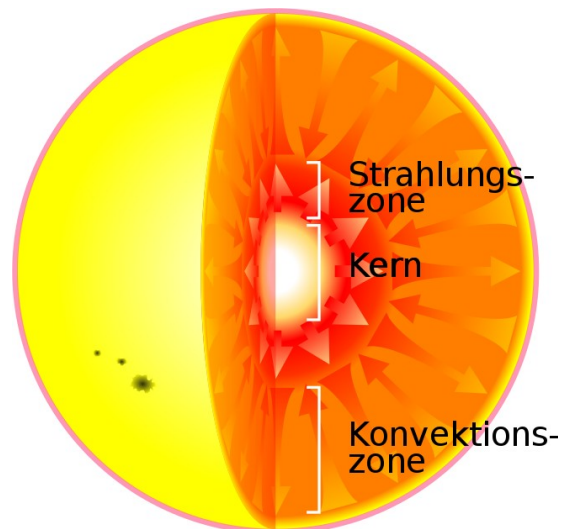
Bildquelle: ESO, VLT (Very Large Telescope)

Der Helix Nebel

Der **Helix Nebel** ist ein **planetarischer Nebel** im Sternbild **Wassermann**, der um **1824** von Karl Ludwig Harding **entdeckt** wurde. Mit einer **Entfernung** von nur knapp **700 Lichtjahren** ist er der uns am **nächsten gelegene** und damit **scheinbar größte** und **hellste** Nebel seiner Art. Am Himmel ist er etwa **halb so groß** wie der **Vollmond**; sein wirklicher **Durchmesser** beträgt ca. **2,5 Lichtjahre**.

Die **historische Bezeichnung** als 'planetarische Nebel' wurde 1785 von **William Herschel** geprägt, weil diese Objekte in den damaligen Teleskopen dem (nur 4 Jahre zuvor entdeckten) **Gasriesenplaneten Uranus** ähnelten.

Dennoch haben diese Nebel **nichts mit Planeten zu tun**, sondern mit dem **Ende** der **Entwicklung massearmer Sterne**: Ein **Stern** wie unsere Sonne **leuchtet** über mehrere **Milliarden Jahre** relativ gleichmäßig. Während dieser sog. **Hauptreihenphase** findet nur **im Zentrum** die **Kernfusion von Wasserstoff zu Helium** statt, die ein stabiles **Gleichgewicht** des Sterns gegen seine **Eigengravitation** aufrechterhält.



Kommt schließlich die **zentrale Kernfusion** zum **Erliegen**, weil **dort** der **Wasserstoffvorrat verbraucht** ist, ver-

ändert der Stern seine **innere Struktur**: Die Fusion von **Wasserstoff** verlagert sich in eine **Schale** um den (vorerst inaktiven) **Heliumkern**. Dieser **verdichtet** sich, bis dort **erneute Kernfusion** einsetzt, aber nun von Helium zu den **höheren Elementen** Kohlenstoff und Sauerstoff. Durch die neuen Reaktionen in der Schale und im Kern **steigert der Stern** seine **Leuchtkraft** und **dehnt sich** darum **aus**: er entwickelt sich zum **Roten Riesen** – einige **hundert Mal so groß** wie die **Sonne**! Dieser **Stern verliert** seine **äußeren Schichten** durch einen (mit **einigen zehn km/s**) zwar **langsamen**, aber dennoch **starken Sternwind**. Der dadurch **freigelegte heiße**, innere **Kern** bleibt schließlich als **Weißer Zwerg** mit anfangs bis zu **100 000 Grad** übrig. Da in ihm **keine Fusionsreaktionen** mehr ablaufen, wird der **Weißer Zwerg** von der Gravitation **stark komprimiert**: Die **mittlere Dichte** beträgt ca. **1 Tonne / cm³** – das ist die **Masse der Sonne** auf die **Größe der Erde** gepresst!

Die abgestoßene **Hülle** wird als **planetarischer Nebel** sichtbar, solange die **starke UV-Strahlung** des zentralen Weißen Zwergs das **Gas** zum **eigenständigen Leuchten anregen** kann. Da der Weiße Zwerg **auskühlt** und sich die Gashülle weiterhin **ausdehnt** und **verdünnt**, wird der **Nebel** schon nach ca. **10 000 Jahren** wieder **unsichtbar**. Wegen dieser **kurzen Lebensdauer** sieht man in unserer **Milchstraße** derzeit nur etwa **1 500 planetarische Nebel**.

Zum Suchen und Finden:

Wo ist der Weiße Zwerg des Helix Nebels im Bild?

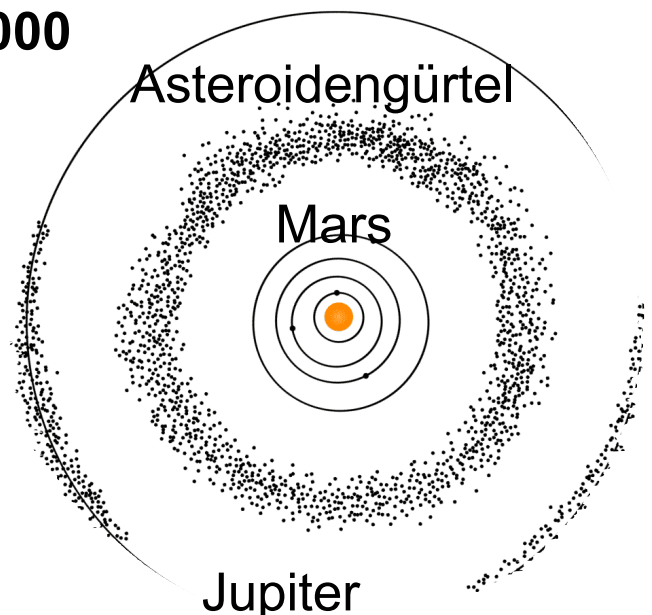
Bildquelle: NASA / ESA, Hubble Space Telescope

Der Asteroid Lutetia

Das **Sonnensystem** enthält neben der **Sonne** und den acht **Planeten** mit ihren **Monden** noch **weitere Objekte**. Einer Definition der Internationalen Astronomischen Union zufolge unterscheidet man **Zwergplaneten**, die aufgrund ihrer Größe und Gravitationskraft annähernd rund sind, von sog. **Kleinkörpern**. Zu letzteren gehören **Asteroiden**, **Meteoroiden** und **Kometen**.

Asteroiden, auch **Kleinplaneten** oder **Planetoiden** genannt, haben eine **Größe** von **bis zu** wenigen **100 km** und sind **Felsbrocken** oder eine lockere Ansammlung von solchen. Es gibt **keine eindeutige Abgrenzung** zu den kleineren **Meteoroiden**, deren Größe vom Submillimeterbereich bis zu **etlichen Metern** reicht. Die **Asteroiden** sind heute vermutlich die **Überreste der Planetesimale**, aus denen sich bei der **Entstehung des Sonnensystems** vor ca. 4,5 Mrd. Jahren die **Planeten** gebildet haben.

Es sind bereits **weit über 500 000 Asteroiden** bekannt. Ca. **90 %** davon befinden sich im sog. **Asteroidengürtel** zwischen **Mars** und dem **Riesenplaneten Jupiter**, dessen **Gravitation verhindert** hat, dass sich an dieser Stelle ein weiterer **Planet bilden** konnte.



Einige Tausend Asteroiden umkreisen die Sonne auf der selben **Umlaufbahn** wie **Jupiter**, jedoch (im Mittel) um einen **60°-Winkel** versetzt. Diese sog. **Trojaner** werden von der **gemeinsamen Anziehungskraft** von **Jupiter** und der **Sonne** auf einer besonders **stabilen Bahn** gehalten.

Das Bild zeigt den **~100 km großen** Asteroiden **Lutetia**, der **1852** von **Hermann Mayer Salomon Goldschmidt** in **Paris** entdeckt wurde. Der deutsch-französische Astronom **entdeckte bis 1861** noch **13 weitere Asteroiden**, wofür er 1861 mit der Goldmedaille der englischen *Royal Astronomical Society* ausgezeichnet wurde.

Die Aufnahme wurde im Juli 2010 von der **Raumsonde Rosetta** beim Vorbeiflug aus nur 3 170 km Entfernung gemacht. Obwohl sich Lutetia **im Asteroiden-Hauptgürtel** befindet, deutet sein **Spektrum** darauf hin, dass er **weiter innen im Sonnensystem entstanden** ist. Lutetia könnte also ein direkter **Überrest des Materials** sein, aus dem die **Gesteinsplaneten** (wie die Erde) entstanden sind.

Zum Nachdenken:

Der Meteorit (so nennt man Asteroiden oder Meteoroiden, die auf der Erde einschlagen), der vor ca. 15 Mio. Jahren das 348 km² große Nördlinger Ries erzeugt hat, hatte einen Durchmesser von ca. 1,5 km. Was würde wohl passieren, wenn Lutetia von seiner Umlaufbahn im Asteroidengürtel abgelenkt werden und auf die Erde stürzen würde?

**Bildquelle: ESA (Europäische Weltraumorganisation)
Rosetta Raumsonde**

Astronomie- Ausstellung

am Panoramaweg
in Wasserburg am Inn

1. Übersicht 2014



2. **Centaurus A**



3. Wolf-Rayet Nebel (*seit 2012*)



4. **Exoplaneten**



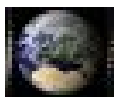
5. Der Asteroid Lutetia (*seit 2012*)



6. Das Planetensystem (*seit 2007*)



7. Die Sonne (*seit 2003*)



8. Die Erde (*seit 2007*)

Die aktive Galaxie Cen A

Der Großteil der **Strahlung „normaler“ Galaxien** wird von Sternen und Staubwolken verursacht. **Sterne** leuchten mit ihren **mehrere tausend Grad** heißen Oberflächen hauptsächlich im **optischen** und **ultravioletten Licht**. Das wird zum Teil von **interstellarem Staub** absorbiert, der sich dabei erwärmt und der dann im **infraroten Licht** leuchtet.

Die **mehreren hundert Milliarden Sterne** der gezeigten **elliptischen Galaxie „NGC 5128“**, die 1826 von James Dunlop entdeckt wurde, sind nur als **diffuses Leuchten** zu erkennen. Auffällig ist das **dunkle Staubband** in der Mitte, das bereits 1847 von John Herschel bemerkt wurde. Seit 1954 geht man davon aus, dass es sich dabei um den **Überrest einer kleineren Spiralgalaxie** handelt, die mit einer größeren elliptischen Galaxie **„kollidiert“** ist. Allein durch die **Gravitationsanziehung** zwischen den Sternen wurde die ursprüngliche Spiralstruktur zerrissen, aber zugleich auch **verstärkte Sternentstehung** verursacht.

Aktive Galaxien haben jedoch noch bemerkenswertere Eigenschaften. Ihre Strahlung umfasst beinahe das ganze **elektromagnetische Spektrum**: Von langwelliger **Radio- und Mikrowellenstrahlung** über **Infrarot, sichtbares und UV-Licht** bis hin zur hochenergetischen **Röntgen- und Gammastrahlung**. Sie gehören zu den **leuchtkräftigsten Objekten** im Universum, die selbst in **sehr großen Entfernungen** noch sichtbar sein können.

1949 wurde erkannt, dass NGC 5128 mit **Centaurus A** identisch ist. Dieser Name mit „A“ bezeichnet die **hellste Radioquelle** des südlichen **Sternbilds Kentaur**. Mit einer **Entfernung** von „nur“ ca. **12 Millionen Lichtjahren** ist es also die uns am nächsten gelegene **aktive Radiogalaxie**.

Die **Radiostrahlung aktiver Galaxien** wird von **Jets** verursacht; das sind stark gebündelte **Materieausflüsse** mit **sehr hohen Geschwindigkeiten** (oft sogar nahe der Lichtgeschwindigkeit!) aus dem **Zentrum der Galaxie**.



Um die **Jets von Cen A im Bild** sichtbar zu machen, wurden der optischen Aufnahme Messungen bei **anderen Wellenlängen überlagert**: Ein **oranger** Farbanteil stammt eigentlich von **Submillimeter-Daten** (bei $870 \mu\text{m}$), ebenso wie **Röntgeninformationen** in **blau** eingearbeitet sind.

Die **Energiequelle aktiver Galaxien** und ihrer **Jets** sind zentrale **Schwarze Löcher** mit mehreren **Millionen bis Milliarden Sonnenmassen**. Hineinfallende **Materie** bildet zunächst eine Scheibe. In ihr wird ein **Teil** der enormen **Gravitationsenergie** freigesetzt, bevor das Material für immer **im Schwarzen Loch verschwindet**. Diese sog. **Akkretion auf kompakte Objekte** erzeugt mehr Energie **als Kernfusion** in Sternen. **Magnetfelder** in der (innen fast lichtschnell!) **rotierenden Scheibe** bewirken, dass ein Teil der einfallenden Materie **als Jet abgestoßen** wird.

Zum Vergleich:

Das zentrale Schwarze Loch der Milchstraße ist nicht aktiv.

Bildquelle: ESO/WFI, MPIfR/ESO/APEX, NASA/CXC/CfA

Exoplaneten

Extrasolare Planeten, oder kurz **Exoplaneten**, sind Planeten **außerhalb des Sonnensystems**, die **andere Sterne** umrunden. Wegen der **geringen Masse** von Planeten reicht ihr **Gravitationsdruck** nicht, um – wie bei Sternen – eine Innentemperatur von mehreren Millionen Grad zu erzeugen und die Kernfusion in Gang zu setzen. Dadurch sind **Planeten relativ lichtschwach** im Vergleich zu Sternen, was ihre **direkte Beobachtung erschwert**.

Zudem liegt der **geringe Winkelabstand** eines Exoplaneten von seinem Zentralgestirn an der **Grenze des Auflösungsvermögens** der heutigen Teleskope. Bis

auf einige wenige Ausnahmen können Exoplaneten meist nur **indirekt nachgewiesen** werden: Wenn die Planetenbahn die Sichtlinie zum Stern kreuzt, ergeben sich regelmäßige **Bedeckungen**, die die photometrische **Helligkeit des Sterns** verringern. Manchmal kann auch die **Bewegung des Sterns** um den **gemeinsamen Schwerpunkt** von Stern und Planet durch den **Doppler-Effekt** im Sternspektrum bestimmt werden.

Mit derartigen Methoden und modernen Teleskopen wurden **seit Anfang der 1990er Jahre** bis 2014 fast **1.800 Exoplaneten** in rund **1.100 Systemen** entdeckt. Nach bisheriger Bewertung schätzen Astronomen, dass **jeder** der ca. 100 Milliarden **Sterne** unserer Milchstraße durchschnittlich von **ein bis zwei Exoplaneten** umrundet wird.

Um erdähnliches **Leben** zu ermöglichen,

muss sich ein Planet in der **„habitablen“ Zone** seines Sterns befinden: Der **bewohnbare Bereich** ergibt sich aus dem Abstand, in dem die **Oberflächentemperatur flüssiges Wasser** zulässt. Von **715** Exoplaneten, die das **Satelliten-teleskop Kepler** in den letzten Jahren entdeckte, wurden **nur 4**, d.h. **ca. 0,5 %**, als **habitabel** eingestuft.

Das Bild zeigt das **System Gliese 581** aus der Sicht eines Künstlers, in dem ein **Roter Zwerg** von mehreren Planeten umkreist wird. Einer davon, **Gliese 581c**, ist der **Erde relativ ähnlich** und könnte sich in der **habitablen Zone** befinden.

Zum Nachdenken:

Wie viele habitable Exoplaneten gibt es in unserer Milchstraße? Müsste nicht auf einigen davon auch Leben existieren?

Bildquelle: Künstler der ESO